

**DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS Y METALES PESADOS EN
SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL EMBALSE EL GUÁJARO COMO
CONSECUENCIA DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN EL DISTRITO DE RIEGO
REPELÓN, ATLÁNTICO.**

MARÍA ALEJANDRA FRANCO CABRERA

KAROLS DEL CARMEN SCALDAFERRO RUIZ



CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2017

**Determinación de plaguicidas y metales pesados en sedimentos superficiales del
embalse el Guájaro como consecuencia de la actividad agrícola en el distrito de riego**

Repelón, Atlántico.

María Alejandra Franco Cabrera

Karols del Carmen Scaldaferro Ruíz

Trabajo de grado para optar por el título de

Ingeniero Ambiental

Asesor

M. Sc. Ana Carolina Torregrosa Espinosa

Co-asesor

Dr. Franklin Manuel Torres Bejarano

Corporación Universidad de la Costa, CUC

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2017

NOTA DE ACEPTACION

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 26 de julio de 2.017

Dedicatoria

A Dios Padre, Hijo, Espíritu Santo

Por habernos permitido culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas, por su infinita bondad, amor y gracia al bendecirnos y protegernos cada día de nuestras vidas, por darnos la tranquilidad y paciencia que pedimos en nuestras oraciones sobre todo en aquellos momentos de dificultades. Hoy reconocemos que todo en cuanto recibimos es gracias a ÉL.

Agradecimientos

A nuestros padres y familiares

A quienes amamos profundamente, gracias por brindarnos su apoyo incondicional durante el transcurso de nuestra carrera universitaria; por forjarnos como personas de iniciativa y no permitírnos desfallecer hasta culminar con éxito. A nuestros hermanos, abuelos y demás familiares, quienes fueron incansables en preguntar cómo nos ha ido en el proyecto y siempre estar prestos a escuchar cada uno de mis logros e inconvenientes en el proceso, gracias por la motivación. ¡Infinitas gracias!

A nuestros tutores.

A nuestra asesora M. Sc Ana Carolina Torregrosa Espinosa y a nuestro co-asesor Dr. Franklin Manuel Torres Bejarano, por su disposición para atender pacientemente nuestras dudas sin importar la distancia, por sus sugerencias y correcciones para fortalecer nuestro trabajo, por fortalecernos no solo en el ámbito profesional sino en el personal, y sobre todo por confiar en nosotros.

A Erika Esperanza Arbeláez Silva y Ana Belén Villalobos Meza.

Gracias a ustedes, porque aun teniendo muchas solicitudes por atender en el laboratorio CITA, siempre nos dieron el espacio para preparar los materiales y enseñarnos a calibración de equipos para el desarrollo de los muestreos.

A Jesús Padilla Coba y Nazhir Amaya Tejera.

Gracias por estar dispuesto ante cualquier duda, petición, en el uso de ArcGis o del formato APA, sabemos que sus consejos y ayuda fueron parte importante del desarrollo del proyecto.

A Laura Blanco Pinto y Mercedes Benites Mojica.

Gracias por su compañía durante la realización de este proyecto, por robarse parte de nuestro cariño y lograr entendernos tanto para considerarnos hermanas. En nosotras encontraran personas que en todo sin importar el tiempo que perdamos contacto siempre estarán dispuestas a compartir nuevas experiencias.

A nuestros amigos

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida, gracias por su amistad, consejos, apoyos, ánimo y compañía, que sin importar donde estén queremos darles las gracias por todas sus bendiciones y formarnos como persona.

Para ellos nuevamente muchas gracias y que Dios los bendiga hoy y siempre.

Resumen

Los sedimentos superficiales son considerados como los principales sumideros y reservorios de contaminantes, entre los cuales se encuentran los metales pesados y los plaguicidas, los cuales se han convertido en un tema de especial preocupación en todo el mundo, principalmente por la alta persistencia y poca degradación, reciclaje biogeoquímico y riesgo ecológico. Estos contaminantes pueden llegar a los ecosistemas y a los sedimentos a través de dos vías: la ruta natural, es decir, por la erosión; y por la acción antropogénica. Dentro de las actividades antropogénicas se puede destacar la agricultura, puesto que emplea pesticidas y fertilizantes para el control de plagas y enfermedades en los cultivos o para el rendimiento productivo de sus cultivos. En este sentido, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar los niveles de concentraciones de metales pesados (Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, y Hg) y plaguicidas (organoclorados y organofosforados) en sedimentos superficiales del Embalse El Guájaro y el impacto de la agricultura sobre dichas concentraciones. Se realizaron dos campañas de muestreo (Campaña de Octubre-CO y Campaña de Diciembre-CD), se calculó el Factor de Contaminación (FC), Grado de Contaminación (GC), Índice de Carga de Contaminación (ICC) y el Índice de Geo-Acumulación (IGEO) como indicadores del estado de contaminantes metálicos en el embalse, más el Coeficiente de correlación de Spearman en relación a la materia orgánica (MO) y pH de las muestras. Además, se determinó la distribución espacial de los elementos estudiados usando un sistema de información geográfica (SIG) a partir del modelo de Distancia Inversa Ponderada (IDW). Con relación al hallazgo de plaguicidas, en la CO solo se detectó Clorpirifos, mientras que en la CD se encontró Cipermetrina y en ambas campañas hubo presencia de los seis metales pesados evaluados. Los resultados obtenidos indicaron que las áreas mayormente afectadas por ambos contaminantes corresponden a la parte sur del embalse, se

encontraron zonas hasta con 15.78ppb de Clorpirifos, 46.89ppb de Cipermetrina, 137.39ppm de Zn, 81.85ppm de Cr, 58.28ppm de Ni, 18.07ppm de Pb, 5.63ppm de Cd y 108.68ppb de Hg. Los resultados obtenidos por el FC indicaron que el cadmio era el elemento más enriquecido en los sedimentos del embalse debido a los residuos industriales y agrícolas que se descargan al cuerpo de agua. El ICC categorizó al embalse como un espacio contaminado para todas las estaciones, el GC en promedio arrojó una contaminación muy alta y el IGEO reveló que para los metales Hg y Pb se clasifica en una zona no contaminada, para el Zn, Cr y Ni como moderadamente contaminado y para el Cd moderada a fuertemente contaminada. Se presentó una correlación negativa significativa entre metales-pH, un coeficiente positivo significativo entre metales a excepción del Zn que solo presentó relación con el Ni, al mismo tiempo hubo una relación negativa entre MO-metales. En Colombia no existe un marco normativo que regule los contenidos de estos compuestos en los sedimentos y específicamente en el Guájaro no se han desarrollado este tipo de estudios; por esta razón, los datos obtenidos se compararon con guías internacionales (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA y Canadian Environmental Quality Guidelines-CEQG), excediéndose los límites permisibles, dando lugar a posibles efectos no deseados en el área de estudio. Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque tanto los plaguicidas y metales pesados no se quedan permanentemente en ellos y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales. Teniendo en cuenta esto, se sugiere una revisión por parte de los entes reguladores, dado que las poblaciones que se abastecen de los productos de la zona (agua, peces, camarones, productos agrícolas, entre otros) los están recibiendo con una carga de contaminantes, posibilitando su bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica.

Palabras clave: sedimentos, plaguicidas, metales pesados, contaminación y distribución espacial.

Abstract

Surface sediments are considered as the main sinks and reservoirs of pollutants, including heavy metals and pesticides, which have become a subject of special concern worldwide, mainly due to high persistence and little degradation, biogeochemical recycling and ecological risk. These pollutants can reach ecosystems and sediments through two routes: the natural route, that is, erosion; and by anthropogenic action. Among the anthropogenic activities, agriculture can be highlighted, since it uses pesticides and fertilizers to control pests and diseases in crops or for the productive yield of their crops. In this sense, the objective of the present investigation was to evaluate the concentrations of heavy metals (Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, and Hg) and pesticides (organochlorines and organophosphates) in surface sediments of El Guájaro reservoir and Impact of agriculture on such concentrations. Two sampling campaigns (October-CO Campaign and December-CD Campaign) were carried out, the Contamination Factor (FC), Contamination Rating (GC), Contamination Load Index (CCI) and Geo Index -Acumulation (IGEO) as indices to identify the state of metallic contaminants in the reservoir, plus the Spearman Correlation Coefficient in relation to the organic matter (OM) and pH of the samples. In addition, we determined the spatial distribution of the elements studied using a Geographic Information System (GIS) from the Weighted Reverse Distance (IDW) model. In relation to the finding of pesticides, in the CO only detected Chlorpyrifos, while in the CD was found Cypermethrin and in both campaigns there was presence of six heavy metals evaluated. The results obtained indicate that the areas most affected by both contaminants correspond to the southern part of the reservoir, areas with up to 15.78ppb of Chlorpyrifos, 46.89ppb of Cypermethrin, 137,39ppm of Zn, 81.85ppm Cr, 58.28ppm Ni, 18,07ppm Pb, 5,63ppm Cd and 108.68ppb Hg. The results obtained by the CF indicated that cadmium was the most enriched element in the reservoir

sediments due to the industrial and agricultural residues that are discharged to the body of water. The ICC categorized the reservoir as a contaminated space for all stations, the GC on average showed a very high contamination and the IGEO revealed that for Hg and Pb it is classified in an uncontaminated zone, for Zn, Cr and Ni as moderately Contaminated and for moderate to heavily contaminated Cd. There was a significant negative correlation between metals-pH, a significant positive coefficient between metals with the exception of Zn that was only related to Ni, at the same time there was a negative relationship between MO-metals. In Colombia there is no normative framework that regulates the contents of these compounds in the sediments and specifically in Guájaro this type of studies have not been developed; For this reason, the data obtained were compared with international guidelines (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA and Canadian Environmental Quality Guidelines-CEQG), exceeding the allowable limits, resulting in possible undesirable effects in the study area. Sediments can act as carriers and possible sources of contamination because both pesticides and heavy metals do not remain permanently in them and can be released to the water column by changes in environmental conditions. Taking into account this, it is suggested a review by regulators, since the populations that are supplied with the products of the area (water, fish, shrimp, agricultural products, among others) are receiving them with a load of contaminants , Allowing its bioaccumulation and biomagnification along the trophic chain.

Key words: sediments, pesticides, heavy metals, pollution and spatial distribution.

Contenido

Lista tablas y figuras.....	xiv
Introducción	1
1. Planteamiento del problema	3
2. Justificación.....	8
3. Objetivos	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos específicos.....	11
4. Estado del arte.....	12
5. Marco teórico	16
6. Metodología	33
6.1 Descripción del área de estudio.....	33
6.2 Campaña de muestreo y colecta de datos.....	34
6.3 Geoestadística.....	39
6.4 Normativa.....	39
6.5 Índices de metales pesados.....	40
6.6 Análisis estadístico.....	40
7. Resultados y Discusión	42
7.1 Encuestas.....	47
7.2 Niveles de plaguicidas en los sedimentos del embalse El Guájaro, Atlántico	52
7.3 Niveles de metales pesados en los sedimentos del embalse El Guájaro, Atlántico.....	57
7.3.1 Niveles de mercurio.....	61
7.3.2 Niveles de plomo.....	63
7.3.3 Niveles de zinc.....	65
7.3.4 Niveles de cromo.....	67

7.3.5	Niveles de níquel.	69
7.3.6	Niveles de cadmio.	71
7.4	Índices de Metales Pesados en los sedimentos del Embalse el Guájaro, Atlántico	73
7.4.1	Factor de contaminación (FC).	74
7.4.2	Índice de carga de contaminación (ICC).	81
7.4.3	Grado de Contaminación (GC).	81
7.4.4	Índice de geo-acumulación (IGEO).	84
7.5	Análisis de Correlación de Spearman	91
9.	Conclusiones	93
	Referencias.....	95
	Bibliografía	125
	Anexos	126

Lista tablas y figuras

Tablas

Tabla 5.1 Tipos de Plaguicidas según el organismo que controlan.....	17
Tabla 5.2 Categoría Toxicológica de Plaguicidas	17
Tabla 5.3 Clasificación de plaguicidas	19
Tabla 5.4 Distribución, fuente de exposición y riesgos del Cromo.....	23
Tabla 5.5 Distribución, fuente de exposición y riesgos del Mercurio	23
Tabla 5.6 Distribución, fuente de exposición y riesgos del Plomo	24
Tabla 5.7 Distribución, fuente de exposición y riesgos del Zinc	24
Tabla 5.8 Distribución, fuente de exposición y riesgos del Níquel.....	25
Tabla 5.9 Distribución, fuente de exposición y riesgos del Cadmio	25
Tabla 5.10 Índices para Metales Pesados	31
Tabla 6.1 Estaciones de Muestreo	35
Tabla 7.1 Usuarios con concesión y permiso de vertimientos en el Embalse el Guájaro ...	46
Tabla 7.2 Clasificación de Plaguicidas aplicados en el Distrito de Riego de Repelón, Atlántico.....	50
Tabla 7.3 Plaguicidas detectados en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico.....	53
Tabla 7.4 Parámetros de Calidad de Agua In situ	57
Tabla 7.5 Materia Orgánica, pH y Metales Pesados detectados en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico.....	58
Tabla 7.6 Índices de metales pesados.....	74
Tabla 7.7 Resultados de la Correlación de Spearman	91

Figuras

Figura 5.1 Estructura general de los plaguicidas organofosforados.....	20
Figura 5.2 Estructura del método de Cromatografía de gases.	27
Figura 5.3 Equipo de espectrofotometría de adsorción atómica	29
Figura 6.1 Ubicación Geográfica del Embalse el Guájaro, Atlántico	33
Figura 6.2 Estaciones de Muestreo en el Embalse el Guájaro, Atlántico.	35
Figura 6.3 GC-MS trace 1310-ISQ Thermo Scientific.	37
Figura 6.4 UHPLC – DAD ultimate 3000 Thermo– ionex	37
Figura 6.5 ICE 3500 Thermo Scientific.	38
Figura 6.6 DMA 80 Direct Mercury Analyzer.....	38
Figura 6.7 PSA Analytical Millennium System..	38
Figura 6.8 Diseño metodológico	41
Figura 7.1 Compuertas Villa Rosa y Porvenir del Embalse el Guájaro, Atlántico.	43
Figura 7.2 Distrito de Riego de Repelón, Atlántico	44
Figura 7.3 Canteras en el Embalse el Guájaro, Atlántico.....	44
Figura 7.4 Drenaje en el Embalse el Guájaro, Atlántico.	45
Figura 7.5 Relación Plaguicidas Vs % de Agricultores.	49
Figura 7.6 Frecuencia y Dosis de aplicación de Plaguicidas Vs % de agricultores..	51
Figura 7.7 Niveles de Hg en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD)	62
Figura 7. 8 Niveles de Hg Vs Valores de Referencia según la NOAA y CEQC.	63
Figura 7.9 Niveles de Pb en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD).	64
Figura 7.10 Niveles de Pb Vs Valores de referencia según la NOAA y CEQC.	65
Figura 7.11 Niveles de Zn en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD).....	66

Figura 7.12 Niveles de Zn Vs Valores de referencia según la NOAA y CEQC	67
Figura 7.13 Niveles de Cr en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD)	68
Figura 7.14 Niveles de Cr Vs Valores de Referencia según la NOAA y CEQC.	69
Figura 7.15 Niveles de Ni en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD)	70
Figura 7.16 Niveles de Ni Vs Valores de Referencia según la NOAA y CEQC.	71
Figura 7.17 Niveles de Cd en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD).....	72
Figura 7.18 Niveles de Cd Vs Valores de Referencia según la NOAA y CEQC.....	73
Figura 7.19 Factor de Contaminación del Pb	75
Figura 7.20 Factor de Contaminación del Hg	76
Figura 7.21 Factor de Contaminación del Zn.....	77
Figura 7.22 Factor de Contaminación del Ni	78
Figura 7.23 Factor de Contaminación del Cr	79
Figura 7.24 Factor de Contaminación del Cd.....	80
Figura 7.25 Índice de Carga de Contaminación	82
Figura 7.26 Grado de Contaminación	83
Figura 7.27 Índice de Geo-acumulación del Pb	85
Figura 7.28 Índice de Geo-acumulación del Hg.....	86
Figura 7.29 Índice de Geo-acumulación del Zn	87
Figura 7.30 Índice de Geo-acumulación del Ni.....	88
Figura 7.31 Índice de Geo-acumulación del Cr.....	89
Figura 7.32 Índice de Geo-acumulación del Cd.....	90

Introducción

Los sistemas acuáticos incluyendo ríos y embalses se encuentran dentro de los sistemas que actúan como receptores de los diversos tipos de contaminantes provenientes de vertidos residuales municipales e industriales, actividades agrícolas, productos químicos en uso y contaminación de fuentes no puntuales (Dhanakumar, Solaraj, & Mohanraj, 2015; Net, Dumoulin, El Osmani, Rabodonirina, & Ouddane, 2014). Debido a su ubicuidad, persistencia, facilidad de transporte de largo alcance y efectos potencialmente adversos en los organismos vivos, los contaminantes orgánicos representan gran preocupación en el medio ambiente (Malve, Salo, Verta, & Forsius, 2003; Singh, Malik, Mohan, & Sinha, 2004; Zhang, Huang, Yu, & Hong, 2004).

Los plaguicidas organoclorados (POC) como parte de los compuestos orgánicos persistentes (COP), tienen propiedades fisicoquímicas intrínsecas que dictan su comportamiento medioambiental (Wania, 2006), también se incluyen factores como las características del agua, movimiento de sedimentos y su fracción de tamaño (Bigus, Tobiszewski, & Namieśnik, 2014; Lin et al., 2015; Mwanamoki et al., 2014). Es así que pueden encontrarse en la costa, estuarios, columna de agua de ríos y embalses, específicamente en los sedimentos donde tienden a acumularse por ser compuestos altamente lipofílicos (Arias Almeida & Ramírez Restrepo, 2009; Cailleaud et al., 2007; Chiou, McGroddy, & Kile, 1998; Manodori et al., 2006). De acuerdo con Vittozzi et al., (2001) los plaguicidas organofosforados (POF) a diferencia de los POC poseen menor persistencia, debido a que “los procesos de transformación ambiental se efectúan con mayor eficiencia sobre los enlaces fosfoester de estas moléculas, pero en numerosas

ocasiones la degradación parcial genera subproductos de mayor toxicidad” (Narváez Valderrama, Palacio Baena, & Molina Pérez, 2012, p. 30). Éstos fueron restringidos o prohibidos para su uso en la década de 1970 en muchos países (Zhou, Zhu, & Chen, 2007). En Colombia por solicitud de los Ministerios de Salud o de Agricultura y mediante Resolución de la Gerencia General del ICA, o del Ministerio de Agricultura, desde 1974 se ha legislado el uso en el país de algunos plaguicidas, entre ellos el DDT y paration, corresponden a POC y POF respectivamente (ICA, 2005). Pero, “aún se detectan habitualmente en suelos, sedimentos, agua, aire, e incluso productos alimenticios” (Yang, Xue, Yu, Zhou, & Liu, 2010, p. 662). Por lo tanto, las investigaciones fitosanitarias en los sedimentos pueden proporcionar un valioso registro de alteraciones al medio acuático (Iwata, Tanabe, Ueda, & Tatsukawa, 1995).

En el norte de Colombia, y en particular en el sur del Departamento del Atlántico, se ubica “un sistema hídrico abastecido por un canal artificial (el canal del Dique) a través de un dispositivo de compuertas” (F. Torres Bejarano, Padilla Coba, Rodríguez Cuevas, Ramírez León, & Cantero Rodelo, 2015, p. 163). En su área de influencia colinda con el distrito de Riego de Repelón, el cual se emplea para abastecer con agua de riego los cultivos agrícolas de la zona. En esta actividad económica emplean agroquímicos para el control de insectos y plagas, y fertilizantes para aumentar el rendimiento de los cultivos. A través de este trabajo de investigación se pretende evaluar los niveles de concentraciones de plaguicidas (organoclorados y organofosforados) y metales pesados (Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, y Hg) en los sedimentos superficiales del Embalse el Guájaro, Atlántico.

1. Planteamiento del problema

El Centro Internacional de Agricultura Orgánica, la Corporación para la Conservación del Medio Ambiente, & el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (1998) señalaron que el control de insectos, plagas y vertebrados es uno de los temas más controvertidos dentro de la producción agropecuaria, y al mismo tiempo, es hacia donde se dirige la mayor concentración de recursos y esfuerzos. La historia de los plaguicidas ha demostrado su contribución a la solución de problemas, tanto a nivel de incremento en la producción de alimentos, como en la salud pública en el control de insectos transmisores de enfermedades (Arboleda Bonilla, Solano Peinado, Romero Urdaneta, & Gómez Carrascal, 2000). No obstante, su uso desprogramado e irracional ha originado efectos adversos para el medio ambiente y la salud pública (René Farrera, 2004).

A su vez, existen otras sustancias toxicas tales como, metales pesados que amenazan el medio ambiente debido a su alta toxicidad, baja degradabilidad, bioacumulación y biomagnificación (Hongmei et al., 2016) dentro de ellos se destacan especies como contaminantes prioritarios, que incluyen al Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Níquel (Ni) y Zinc (Zn) (C. Li et al., 2015; Y. Li et al., 2015; Protano et al., 2014). Son hallados en medios acuáticos por la liberación lenta de la columna de agua a través de la erosión de las rocas y sedimentos, sus concentraciones naturales representan amenazas mínimas (De Souza et al., 2016). Sin embargo, los niveles de metales provenientes de actividades antropogénicas superan las de fuentes naturales, sobre todo en las cuencas industriales. Fuentes como la agricultura, vertederos municipales y alcantarillado también contribuyen significativamente (Fernández, Puchulu, & Georgieff,

2014). Las prácticas agrícolas, por el amplio uso de plaguicidas, fertilizantes y enmiendas del suelo, pueden contener metales pesados como impurezas (Nziguheba & Smolders, 2008; Paranjape, Gowariker, Krishnamurthy, & Gowariker, 2014), y su uso repetido genera la acumulación de tóxicos en el medio (Wuana & Okieimen, 2011).

Así mismo, una práctica común es el riego de tierras con aguas recicladas de acuerdo con lo planteado por Ruvalcaba Ledezma, Estrada Montiel, López Hidalgo, Vázquez García, & Sánchez Martínez, (2016). Es frecuente el vertimiento luego de su utilización al mismo cuerpo de agua del cual se ha realizado la captación, lugar donde además se descargan aguas residuales municipales e industriales o por escorrentía, mediante esta última se posibilita el arrastrarse de lixiviados contaminados producto de la eliminación inadecuada de los residuos sólidos urbanos (Fernández et al., 2014). Aunque las concentraciones de metales en éstas son generalmente por debajo de los niveles tóxicos, el riego a largo plazo resulta en la adición de más tóxicos en el ambiente (Kothe, Dimkpa, Haferburg, Schmidt, & Schmidt, 2010).

Por su posición geográfica, Colombia presenta condiciones climatológicas muy variadas como una amplia diversidad biológica, reflejadas en la presencia de microorganismos que afectan a los cultivos agrícolas y forestales, pero se pueden disponer como agentes naturales para el control biológico (Loaiza Cárdenas, 2005, p. 20). Pese a esto, en el país se ha acudido a la utilización de productos derivados de la síntesis química, ocupando así el “tercer puesto en América Latina en el consumo de plaguicidas después de Brasil y México” (Colorado, Tobon, & Ballestas, 2016, p. 14). La agroindustria nacional constituye el 40% de la fuerza laboral y representa el 50% de las divisas nacionales (Bruinsma, 2003) y en el año 2014 el consumo de agroquímicos de tipo fungicidas y

bactericidas fue de 40900.9 toneladas seguidos por 24917.2 toneladas de herbicidas y 76885.5 toneladas de insecticidas (Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, 2014). “En este sentido, el país tiene el reto de manejar y controlar las plagas con criterios científicos racionales que propendan por una agricultura sostenible” (Ministerio de Medio Ambiente, 1999, p. 8).

Específicamente en el sur del Departamento del Atlántico se cuenta con un cuerpo de agua denominado “Embalse del Guájaro”; es un ambiente artificial caracterizado por poseer condiciones propias como hábitats lénticos y lóticos (Molina Larrahondo, 1992). “Categorizado como el segundo más importante por su extensión y productividad en el país según la FAO” (Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA, 2012, p. 3). Está circunscrito por los municipios de Luruaco, Repelón, Manatí y Sabanalarga (Carrillo Sarmiento, 2012). Abastece al distrito de riego de repelón, maneja un caudal aproximado de 230 Mm³, y cuenta con dos sistemas de compuertas en el corregimiento de Villa Rosa y Porvenir que la comunican con el Canal del Dique, permitiendo controlar los niveles del embalse (Departamento de Planeación Nacional, 2010).

En este sistema de compuertas, se han venido presentando actividades que están afectando de manera directa la calidad del agua, tales como, la disposición de basuras en el área de influencia, el control de insectos con agroquímicos, especialmente, la descarga de plaguicidas organoclorados; también actúan como fuente de contaminación las descargas de aguas servidas de los municipios y corregimientos circundantes, como las provenientes del Canal del Dique, dado que llegan con un alto contenido de sólidos, la zona llamada “Las Compuertas” al mantenerse cerrada altera la condición natural del embalse, impidiendo la salida de sedimentos, el arrastre de sólidos provenientes de las canteras de material

triturado, entre otros (Oyaga Martínez, 2013, p. 49). Lo anterior provoca impactos como “deterioro del sistema hidrográfico e hidrológico, por mal manejo de las compuertas, contaminación lodosa producto de actividades de explotación minera y sedimentación que afecta la fauna y flora del embalse” (Torrenegra Peña, 2001, p. 49). Como muestra de ello, se analiza que en los inicios el embalse, tenía capacidad para almacenar unos 400 millones metros cúbicos de agua en un área total de 16.000 hectáreas y con una profundidad promedio de 5 metros, pero su extensión se ha reducido a 12.000 hectáreas de su espejo de agua y casi la totalidad de sus rondas naturales, su profundidad ha disminuido a 2 metros en promedio y su capacidad de almacenamiento ha bajado sosteniblemente (Arrieta Barbosa, 1999).

Por las propiedades intrínsecas de los sedimentos, son considerados como sustratos que permiten inferir la historia de una región, incluso la contaminación, pues en ellos se acumulan gran cantidad de sustancias y elementos contaminantes como metales pesados y residuos de prácticas agrícolas (Salamanca & Jara, 2003). Por ejemplo, los organofosforados a diferencia de los organoclorados cuando entra en contacto con el suelo no permanece mucho tiempo en él, debido a que se degrada con bastante rapidez (Lacayo R et al., 1997). Estudios desarrollados por McGroddy, Farrington, & Gschwend, (1996) y Richardson, (1991), autores citados por Masís, Valdez, Coto, & León, (2008) mencionan que las capas superficiales del sedimento representan la entrada más reciente de sustancias antropogénicas al sistema.

La distribución de los compuestos organoclorados en el ambiente durante la aplicación de plaguicidas en tierras de cultivo y para destrucción de plagas vectoras de organismos causantes de epidemias tales como el paludismo en hábitats humanos, así como

los escapes accidentales de los segundos, han colaborado a su amplia dispersión en el ambiente. El riesgo que representan actualmente se relaciona a alta persistencia en el mismo. Este tipo de sustancias, llegan a los ecosistemas acuáticos por las descargas de aguas, aire y suelo, como resultado de procesos tales como transporte eólico, condensación, sedimentación, volatilización, escorrentías, filtración, etc. Una vez que ingresan al ambiente acuático, debido a sus características lipofílicas, se adhieren a materia orgánica que funcionan como adsorbentes de los agroquímicos o sus metabolitos (Kile, Chiou, Zhou, Li, & Xu, 1995). A su vez, se depositan en los sedimentos, desde los cuales pueden ser liberados y pasar a través de la cadena alimenticia, pudiendo ser bioconcentrados y biomagnificados por los organismos, principalmente en tejido adiposo de peces y moluscos según los resultados obtenidos en “Detección y Cuantificación de Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos y Organismos en la Zona Costera del Municipio de Ahome, Sinaloa,” en 2005. Por lo que conocer las características del sedimento, en función de la presencia de plaguicidas y metales pesados, permitirá responder el siguiente interrogante ¿Cuál es el estado actual de los sedimentos del embalse el Guájaro, como consecuencia de la actividad agrícola desarrollada en su área de influencia?

2. Justificación

Los embalses cumplen funciones de alta importancia, fueron construidos por el hombre para suplir ciertas necesidades, tales como, servir de reservorios de agua, prestar servicios de tipo recreativo y agrícola, controlar de inundaciones y en la producción de energía eléctrica. Además, son receptores de diversos contaminantes procedentes de fuentes litogénicas y antropogénicas (Couderc et al., 2015; Menzies, Soares Quinete, Gardinali, & Seba, 2013).

Estos sistemas han sido afectados de manera negativa por la extensiva actividad antropogénica, relacionado con el crecimiento demográfico y en especial el uso de productos químicos en la agricultura, en donde el arrastre de sedimentos y nutrientes provenientes de los afluentes de cultivos y de aguas residuales de municipios aledaños, que contienen plaguicidas, metales, metaloides, así como contaminantes orgánicos y nutrientes, exacerban las presiones sobre el medio lo que evidencia el deterioro de la calidad ecológica del mismo (Khodami, Surif, W.O., & Daryanabard, 2017; Rodríguez Zambrano & Aranguren Riaño, 2014).

En el tema a tratar, los plaguicidas y metales pesados provienen de la agricultura, pero éstos últimos también pueden ser derivados tanto de fuentes naturales (erosión y meteorización) como de otras actividades antropogénicas, por ejemplo, los vertidos industriales, minería, transporte, represado, eliminación y escurrimiento de aguas residuales (Hernández-Crespo & Martín, 2015; Keshavarzi et al., 2015; Sun et al., 2015; Xu et al., 2016); ambos son acarreados a fuentes hídricas por las corrientes superficiales (Calderón Villagómez, González Enriquez, & Durán de Bazú, 2001); Luego de que estos

contaminantes ingresan, la mayoría tienen cortos tiempos de residencia en el agua y rara vez permanecen como sustancias puras, dado que rápidamente se adsorben al material particulado en suspensión o materia orgánica, acumulándose en sedimentos y organismos según Rodríguez C. et al., (2008). Es así que los sedimentos superficiales son el principal reservorio para metales y contaminantes en general de los sistemas acuáticos (Peng, Luo, Lou, Li, & Shen, 2008).

En ese orden de ideas, las sustancias tóxicas en mención pueden ingresar a los seres vivos a través de la piel, vías respiratorias, alimentos, agua, y otros, se bioacumulan y biomagnifican, es decir, a lo largo de la vida un organismo va almacenando en órganos o tejido graso sustancias a las que está expuesto, y al consumir una entidad contaminada los depredadores también los almacenan, y así provocan que las sustancias se transfieran de un organismo a otro en la cadena trófica, incluyendo al ser humano causando problemas de salud (Bezerra da Silva, Barros Cantalice, Singh, Araújo do Nascimento, & Casimiro Piscoya, 2015; Neme, Ríos, Zaldúa, & Cupeiro, 2010).

Por lo anterior, retoma importancia el desarrollo de proyectos que permitan evaluar los niveles de plaguicidas y metales pesados en sedimentos superficiales del embalse el Guájaro a razón del sector agropecuario e industrial que lo circunscribe, dado que, en el 2015 se llevó a cabo una investigación sobre la toxicidad de los sedimentos en 20 estaciones a lo largo del Río Magdalena que es el principal aportante de aguas y sedimentos al embalse el Guájaro, este estudio incluyó a los municipios de Calamar y Campo de la Cruz del Departamento del Atlántico, que son zonas cercanas al área de interés y donde la economía depende de igual forma de actividades agropecuarias y la pesca, se encontró concentraciones significativas de Co (Cobalto), Ni, Cu, Zn, Cd, Hg y Pb en sedimentos

(Tejeda Benitez, Flegal, Odigie, & Olivero Verbel, 2016). Además, se tiene en cuenta que a pesar que la CRA como ente corporativo de carácter público, encargado por ley de administrar en el Departamento del Atlántico el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por el desarrollo sostenible del país, estudia mediante monitoreos y caracterizaciones la calidad fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de las fuentes hídricas dentro del área de su jurisdicción, aún no ha evaluado los sedimentos ni éstos tipos de contaminantes en el embalse..

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar los niveles de concentraciones de plaguicidas y metales pesados en los sedimentos superficiales del Embalse el Guájaro, Atlántico.

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar las concentraciones de plaguicidas y metales en los sedimentos superficiales del embalse del Guájaro
- ✓ Elaborar mapas que representen la distribución de las concentraciones de plaguicidas y metales detectados en los sedimentos superficiales del embalse del Guájaro estableciendo las zonas de mayor afectación
- ✓ Realizar una valoración del estado actual de los sedimentos superficiales del embalse el Guájaro, utilizando la normatividad colombiana y guías internacionales para la planificación del cumplimiento de estándares de calidad ambiental.

4. Estado del arte

El sedimento en los embalses se forma a través de la sedimentación de la materia particulada entregada por el río y la escorrentía de la pendiente (Mamontova, Mamontov, & Tarasova, 2016). Además éstos se consideran como hábitats, alimentos, zona para el desove y área de cría para muchos organismos acuáticos, son un medio de acumulación de compuestos tóxicos como plaguicidas y metales pesados (Alcalá Jáuregui et al., 2014; Bedmar, Gianelli, Angelini, & Viglianchino, 2015). Estos contaminantes comparten la característica específica de afectar negativamente a los organismos vivos, incluso en concentraciones bajas (García Ubaque, García Ubaque, & Vaca Bohórquez, 2015; Ruvalcaba Ledezma et al., 2016), por lo tanto su análisis ofrece una ayuda insustituible en la reconstrucción de sus entradas al ecosistema (Kanzari et al., 2014; Y. Wu et al., 2015; Yuan et al., 2015).

La detección y cuantificación de éstos abarca amplios estudios alrededor del mundo, son ejemplos las investigaciones de autores como Wang, Pan, & Liu, (2017) y Rangel Peraza et al., (2015) quienes extrajeron metales de muestras de sedimentos usando el procedimiento de digestión ácida, cada extracto fue medido utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) y un plasma acoplado inductivamente con un espectrómetro de emisión atómica (ICP-AES) respectivamente. Además, Mahboob et al., (2015), Hunt et al., (2016) y Sánchez Osorio, Macías Zamora, Ramírez Álvarez, & Bidleman, (2017), determinaron concentraciones de POC y POF en sedimentos de lagunas y ríos a través del método de cromatografía de gases con detector de captura de electrones (CG-ECD), cuyos resultados sustentan que el aporte de contaminantes a los cuerpos de

agua varía considerablemente entre regiones y es altamente dependiente de las propiedades químicas del plaguicida como la velocidad de degradación, adsorción de carbón orgánico y la solubilidad en agua; por ello, “compuestos como Endosulfán, Clorpirifos y Cipermetrina que presentan bajas solubilidades en agua, altos valores de partición octanol-agua y coeficientes desorción, se esperaría que se unieran a la materia orgánica contenida en los sedimentos” (Etchegoyen, Ronco, Almada, Abelando, & Marino, 2017, p. 73). Los factores climáticos (temperatura y precipitación), las características del sedimento (tamaño de grano, composición, entre otros), la batimetría y la intensidad de las prácticas agrícolas del área de interés también median su acumulación en ésta matriz (Rasmussen et al., 2015).

En el orden nacional Garcés Ordóñez et al., (2015) y Marrugo Negrete, Pinedo Hernández, & Díez, (2017) emplearon las metodologías anteriormente mencionadas para la detección de metales pesados y plaguicidas en sedimentos cuyas concentraciones aumentaron significativamente después de la temporada húmeda, lo que sugiere que la “deposición atmosférica y la escorrentía superficial jugaron un papel importante en la distribución de estos contaminantes” (Shi et al., 2016, p. 585). Conjuntamente, se evaluó el perfil de toxicidad de los sedimentos del Río Magdalena a través de cepas de *Caenorhabditis elegans*, se observó la toxicidad más alta para las muestras obtenidas cerca de áreas industriales asociada principalmente con presencia Cd, Pb, Cu y Ni (Tejeda Benitez et al., 2016).

En Medellín, Agudelo Echavarría, Flórez Molina, López, & Palacio (2013) comprobaron que el “pH como variable fisicoquímica en un rango neutro a ligeramente alcalino favorece la transferencia desde el sedimento a la interfase, mientras uno ligeramente ácido beneficia la transformación del plaguicida en el sedimento”, (p.20).

También, se desarrolló una investigación acerca de los fenómenos que tienen lugar en el complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) con relación al comportamiento de los residuos de POC. Se sintetizó que CGSM se comporta como un biorreactor donde las concentraciones de POC en la columna de agua disminuyen gracias a “procesos autodepurativos (adsorción a partículas, sedimentación, degradación), (...). Provocando desventaja para los organismos bentónicos, debido a la potencial acumulación de sustancias tóxicas en el sedimento” (Mauricio Betancourt & Ramírez Triana, 2005, p. 137).

Para representar la variabilidad de datos, comúnmente se emplea un Sistema de Información Geográfico (SIG), porque facilita “la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados” (Menco & Caceres, 2016, p. 161); específicamente las actividades de geoprocesamiento mediante la interpolación de datos, resulta pertinente para estimar “los valores que alcanza una variable Z en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X,Y), partiendo de los valores de Z medidos en una muestra de puntos situados en la misma superficie” (Vera Morales & Gutiérrez López, 2012, p. 11). Yuan et al., (2015) investigaron los niveles de plaguicidas en sedimentos de un estuario mediante ArcGIS para conocer sus distribuciones espaciales e identificar las zonas de mayor carga de contaminantes asociándolas con las posibles fuentes contribuyentes de su estado ecológico. A su vez, un estudio en Córdoba, evaluó la variación espacial y temporal en los contenidos de Hg, Pb, Cr y materia orgánica en sedimento superficial de un complejo de humedales, cuyos valores se representaron en mapas de peligrosidad de contaminación geoquímica del sedimento superficial empleando el mismo software (Cardona Rúa, Molina Flórez, & Baena Palacio, 2013). Con el objetivo

de proporcionar una información más precisa sobre la caracterización y evaluación del riesgo ecológico de los suelos y sedimentos, también se han propuesto índices como el factor de enriquecimiento (EF), factor de contaminación (FC), el grado de contaminación (GC), el índice de carga de contaminación (ICC) y el índice de geo-acumulación (IGEO), valores que expresan el estado de degradación por presencia de metales pesado y sus posibles fuentes (Enuneku, Biose, & Ezemonye, 2017; Nethaji, Kalaivanan, Arya Viswam, & Jayaprakash, 2017).

Por otra parte, para conocer la asociación entre parámetros de una investigación se emplean pruebas estadísticas que arrojen el tipo de distribución de presentan los datos, y dependiendo de ésta se calcula el coeficiente de correlación de Pearson para distribuciones normales (Leonenko, Papić, Sikorskii, & Šuvak, 2017); y para cuando no se distribuyen normalmente se emplea el coeficiente de correlación de Spearman (Queiroz, Araújo, Hammill, & Amaral, 2016). Torres Bejarano et al., en (2016) calculó la distribución normal de los datos de calidad del agua y el número de visitantes a la playa de puerto velero Colombia, con la prueba Shapiro-Wilk, utilizando el paquete de software Real Statistics Resource Pack, versión 3.8 y al obtener una distribución no normal aplicó Spearman para correlacionar sus variables.

5. Marco teórico

Según el código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas que proporciona la FAO los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias que “tienen el objetivo de prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, especies no deseadas de plantas o animales que causan un perjuicio o que obstaculizan en los procesos de producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos o productos agrícolas” (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente., Organización mundial de la salud., & Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación., 1996, p. 1).

Teniendo en cuenta lo anterior, los plaguicidas tienen numerosas alternativas de clasificación según el uso que se le piense dar, entre las principales se encuentran: Primero, según el tipo de organismo que desea controlar como se relaciona en la Tabla 1. Según el grupo químico del principio activo: Compuestos organofosforados, compuestos carbamatos, compuestos organoclorados, piretroides, derivados de bupiridilo, trianquinas, tiocarbamatos, derivados del ácido fenoxiacético, derivados de la umarina, derivados del cloronitrofenol, compuestos organomercuriales, entre otros.

Segundo, de acuerdo a su persistencia en el ambiente: Persistentes, poco persistente, no persistente. Tercero, en relación a la toxicidad: Peligro al ser vivo sin tener en cuenta los efectos a largo plazo como lo expresa en la Tabla 2 (Barral et al., 2001; Milla Cotos, Palomino Horna, & Anaya Pajuelo, 2002)

Tabla 1
Tipos de Plaguicidas según el organismo que controlan.

Tipos de plaguicidas	Organismo que controlan
Insecticidas	Insectos
Acaricidas	Ácaros y arañas
Herbicidas	Malezas
Fungicidas	Hongos
Rodenticidas	Roedores
Nematicidas	Nematodos
Molusquicidas	Caracoles y babosas
Bactericidas	Bacterias
Fumigantes	Plagas de deposito

Nota: Relación del tipo de plaguicidas y los organismos que se controlan. Adaptado de “Conociendo los efectos adversos de los plaguicidas podremos cuidar nuestra salud y la del ambiente”. Por Anguiano et al., 2005, *Universidad Nacional de Comahue*, p. 64.

Tabla 2
Categoría Toxicológica de Plaguicidas

Categoría	Bandas Toxicológicas	F. Liquida		F. Solida	
		Oral	DL50(24 horas) Aguda Dermal	Oral	Dermal
I A	Extremadamente Toxico	< 20	< 40	< 5	< 10
I B	Altamente Toxico	20-200	40-400	5-50	10-100
II	Moderadamente Toxico	200-2000	400-4000	50-500	100-1000
III	Ligeramente Toxico	2000-3000	> 4000	500-2000	> 1000
IV	Sin Riesgo Probable	> 3000	-	> 2000	-

Nota: Relación del tipo de plaguicidas y los organismos que se controlan. Adaptado de “Conociendo los efectos adversos de los plaguicidas podremos cuidar nuestra salud y la del ambiente”. Por Anguiano et al., 2005, *Universidad Nacional de Comahue*, p. 64.

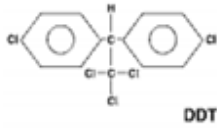

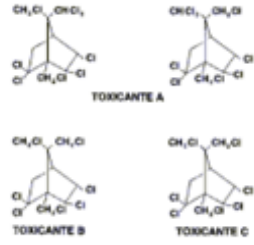

Y cuarto, mediante el grupo químico del principio activo los plaguicidas se pueden clasificar teniendo en cuenta los principales elementos que posee, centrándose en la investigación se tienen en cuenta los plaguicidas organoclorados y organofosforados.

Los plaguicidas organoclorados (POC), según la Organización Mundial de la Salud (OMS) “son compuestos con estructura química correspondiente a la de los hidrocarburos clorados, lo que otorga una alta estabilidad fisicoquímica, haciéndolos insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos. Estas características favorecen su permanencia en el ambiente por ende lenta biodegradabilidad” (Ramírez & Lacasaña, 2001, p. 68).

Debido a su distribución y difícil biodegradación estos compuestos altamente tóxicos representan una amenaza para la salud pública y para la mayoría de formas de vida presentes en el lugar afectado. El ciclo de vida promedio de los plaguicidas organoclorados oscila entre los 4 y 11 años aproximadamente. Lo anterior obedece a que sus estructuras químicas son muy estables y se degradan lentamente bajo condiciones ambientales externas (Georgina Calva & Torres, 1998).

“La clasificación según su estructura química pueden mencionarse los siguientes: los derivados halogenados de hidrocarburos alicíclicos, derivados halogenados de hidrocarburos aromáticos y derivados halogenados de hidrocarburos ciclodiénicos” (Georgina Calva & Torres, 1998, p. 36). Algunos ejemplos se relacionan en la Tabla 3

Tabla 3
Clasificación de plaguicidas

	Derivados de hidrocarburos aromáticos: DDT y compuestos análogos, tales como DDE, DDD, dicofol, metoxicloro y clorobencilato.	Derivados de hidrocarburos alicíclicos: Lindano.	Derivados de hidrocarburos terpénicos: terpenos clorados.	Derivados de hidrocarburos cilociénicos: aldrin, dieldrin, endrín, endosulfan, declorano, clordano, y heptacloro.
POC				
Estructura Química	 DDT	 LINDANO	 TOXICANTE A TOXICANTE B TOXICANTE C	 DIELDRIN ALDRIN

Nota: Clasificación de plaguicidas organoclorados según su estructura química. Adaptado de “Determinación de la característica de toxicidad del Endosulfan por medio de la técnica Toxicity characteristic leaching procedure (Tesis de pregrado)”. Por Salamanca Niño, Torres Chisino, & González Forero, 2009, *Universidad de la Salle*, p. 308. -No presenta información.

Por otro lado, los compuestos organofosforados (POF) se descomponen con mayor facilidad, (...). Son sustancias difícilmente solubles en agua, tentativamente menos persistentes y poco acumulables en el organismo humano (Ramírez & Lacasaña, 2001, p. 69). “El uso de organofosforados, es el responsable de la mayor parte de intoxicaciones por plaguicidas en Centroamérica y sin embargo son escasas las intervenciones e información sistemática sobre estos compuestos en la salud” (Organización Panamericana de la Salud, 2002, p. 234).

Estas sustancias son ésteres del ácido fosfórico (unión de un ácido y un alcohol) y una variedad de alcoholes. Son compuestos apolares que desde el punto de vista químico la mayoría son escasamente insolubles en agua, y desde el punto de vista biológico tienden a disolverse en grasas. Por tal motivo una importante vía de acceso es la piel de los

organismos, dado que está constituida por una capa de tejido con elevado contenido en lípidos (Obiols Jordi, 1999).

Teniendo en cuenta su estructura, cuando el átomo que se une al fósforo con el doble enlace es el oxígeno, el compuesto se denomina Oxon y se caracteriza por favorecer la hidrólisis de la sustancia, especialmente bajo condiciones alcalinas. El compuesto se denomina Tiones si en vez del átomo de oxígeno el organofosforado presenta un átomo de azufre, esto para garantizar que el compuesto sea más resistente a la hidrólisis, por ende, su tiempo en el ambiente sea más prolongado. En la Figura 1 están representados estos dos compuestos. La vida media de los organofosforados es corta, aproximadamente 9 a 15 días, por eso se busca aumentar el tiempo de permanencia en el medio (Milla Cotos et al., 2002).



Figura 1. Estructura general de los plaguicidas organofosforados. Recuperado de “Niveles de colinesterasa sérica en agricultores de la localidad de Carapongo (Perú) y determinación de residuos de plaguicidas inhibidores de la Acetilcolinesterasa en frutas y hortalizas cultivadas (Tesis de pregrado)”, por Milla Cotos et al., 2002, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, p. 81.

Entre los compuestos organofosforados que más se utilizan, se encuentra el Clorpirifos, el cual es insecticida antropogénico utilizado principalmente para combatir plagas de insectos, parásitos del ganado y como aerosol para controlar microorganismos patógenos en los cultivos agrícolas. “Adiferencia de otros pesticidas el clorpirifó no es bioacumulable en el medio, degradándose rápidamente en la atmósfera”. Usualmente es de color blanco, apariencia cristalina y aroma fuerte. Al no ser muy soluble en agua se debe

mezclar con líquidos aceitosos antes de ser aplicado a cosechas o animales. (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2007, para. 1).

El Clorpirifos entra al medio ambiente a través de la aplicación directa a cosechas, prados, viviendas, por otro lado, también puede ingresar al ambiente por medio de derrames, volatilización o disposición de residuos del plaguicida. Éste se adhiere firmemente a las partículas del suelo o del sedimento y con el transcurrir del tiempo es degradado por la luz solar, bacterias u otros procesos químicos. Por último estar expuesto a este plaguicida puede producir efectos sobre el sistema nervioso (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1997). Los efectos perjudiciales de los plaguicidas sobre el ambiente pueden ocurrir a corto y mediano plazo en ambientes cercanos y a largo plazo en ambientes lejanos. Los plaguicidas a corto plazo no solo afectan a la plaga a tratar, también afectan a los organismos expuestos a ellos, incluidos los peces que consumen los residuos, que a su vez son alimento para los seres humanos. A largo plazo y teniendo en cuenta que los plaguicidas son compuestos persistentes, le proporcionan al ecosistema nuevos contaminantes que podrían durar años para remediarse como se aprecia regularmente en los sedimentos (Albert, 1985).

Los plaguicidas tienen sus principales efectos en la superficie de la tierra pero el principal medio de daños ecológicos se da en los cuerpos hídricos, ya sea por bioconcentración, que se presenta cuando los productos químicos se mueven desde el medio circundante hasta el interior de un organismo o por bioacumulación, que se da cuando la concentración de un producto químico crece en el tejido de un organismo, mientras éste hace parte de la cadena trófica (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., Ongley, & Organizacao da Nacoes Unidas para a

Alimentacao e Agricultura., 1997). Otros materiales que en grandes concentraciones producen efectos negativos al ambiente son los metales. Los metales son elementos que tienen la característica de presentar buena conductividad del calor y la electricidad, estos pueden clasificarse en pesados si presenta una gravedad específica superior a 5 y por tanto cubre los elementos con peso atómico superior al del hierro (55.85g/mol), entre los cuales se encuentra el mercurio, cromo, cadmio, zinc, plomo, níquel, entre otros (Cedeño Ochoa, Del pilar Bojacá, & Duque Solano, 2006). Los metales naturalmente están presentes en pequeñas cantidades o trazas en la corteza la tierra, suelos y plantas, muchos de ellos, son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, animales y seres humano. El origen geodisponibles de estos metales se da desde la roca madre hasta los suelos tras ser liberados por meteorización. A diferencia de esto, cuando estos metales se encuentran en grandes cantidades son un indicador de actividades antropogénicas, ya sean de residuos peligrosos, derivados de actividades industriales, minerías, agricultura, etc. (Galán Huertos & Romero Baena, 2008). Los metales pesados son considerados entre los contaminantes más serios para los sistemas acuáticos, debido a su baja eliminación por procesos naturales y pueden incorporarse a las cadenas alimenticias por medio de bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación. Estos elementos presentan distinta movilidad, toxicidad biológica y comportamiento químico (Rivera Trejo et al., 2005).

La movilidad de los metales no solo depende la especie química, también depende de los parámetros del medio, tales como el pH dado que la mayoría de metales tienden a estar más disponibles en el medio a pH ácidos porque no son absorbidos, excepto el cromo que es más móvil a pH alcalinos y la materia orgánica reacciona con los metales pesados formando quelatos, en muchos casos forman complejos organometálicos lo que facilita la

disponibilidad dispersión, por ende, pueden ser degradados por los organismos presentes (Galán Huertos & Romero Baena, 2008). Teniendo en cuenta lo anterior se presentan una serie de características de algunos metales pesados en la Tabla 4 hasta la Tabla 9.

Tabla 4
Distribución, fuente de exposición y riesgos del Cromo

Cromo (Cr)	
Distribución	Cromo elemento no se encuentra en la naturaleza, pero si como mineral de cromo (espinela) y se encuentra distribuida en la corteza terrestre.
Fuente de exposición	Se usa ampliamente en la industria metalúrgica en las aleaciones ferrosas, dada sus excelentes propiedades anticorrosivas y refractarias, en las industrias productoras de cemento y en la industria textilera como pigmento para telas; y además sirve para hacer ladrillos refractarios.
Riesgos	Los compuestos de Cr en estado de oxidación Cr^{+6} se absorben rápidamente después de la ingestión o la inhalación, producen efectos irritantes en la piel o problemas respiratorios

Nota: Características del Cromo. Adaptado de: “Evaluación de los niveles y distribución espacial de metales pesados en zonas de playas turísticas de la Guajira (Tesis de Maestría)”, por Barros Barrios, Marrugo Negrete, & Doria Mercado, 2017, *Universidad de la Guajira*, p. 125.

Tabla 5
Distribución, fuente de exposición y riesgos del Mercurio

Mercurio (Hg)	
Distribución	Esta naturalmente en la corteza terrestre y debido a los desprendimientos o el desgaste misma son aportados a cuerpos de agua, suelo y sedimentos. Sin embargo, la actividad antropogénica es su fuente más común.
Fuente de exposición	Se encuentra naturalmente en forma metálica, como sal y compuesto orgánico. En la industria, para manufactura de equipos eléctricos y científicos (baterías, lámparas, termómetros, barómetros y otros), su uso en pesticidas, conservadores de semillas, pinturas y cosméticos se han restringido en algunos países, pero todavía existen muchas compañías que lo utilizan. Puede aparecer en la comida, expandido en las cadenas alimentarias al ser consumidos por los humanos, como los peces y vegetales.
Riesgos	Las principales vías de entrada son los pulmones por atomización de las sales de mercurio y el tracto gastrointestinal por resultado de la ingestión accidental o voluntaria.

Nota: Características del Mercurio. Adaptado de: “Cuantificación de plomo, mercurio, y cadmio en el agua de consumo humano de cinco comunidades de El Salvador por espectrofotometría de absorción atómica (Tesis

de pregrado)”, por Araujo Chevez, Peraza de Ramírez, & Castillo Ruiz, 2010, *Universidad de El Salvador*, p. 133.

Tabla 6
Distribución, fuente de exposición y riesgos del Plomo

Plomo (Pb)	
Distribución	Los minerales de plomo se encuentran en todo el mundo, pero el más comercial y de donde se extrae es el sulfuro de plomo.
Fuente de exposición	Entre las fuentes antropogénicas se encuentra la minería, que es la principal productora de plomo mediante las formas de extracción y concentración del mineral. Los residuos de la metalurgia, las acumulaciones de los parques automotrices, recubrimientos a base de plomo, municiones de armas, industrias de vidrio, cosméticos y cañerías son otros ejemplos de fuentes.
Riesgos	La intoxicación por parte del plomo se puede presentar en una gran cantidad de industrias, principalmente se produce por absorción de este elemento a través del aparato respiratorio. Produce efectos neurológicos, principalmente en niños, efectos hematológicos, endocrinos, renales, repercusiones sobre la reproducción y efectos cancerígenos

Nota: Características del Plomo. Adaptado de: “Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. (Tesis de pregrado)”, por Ubillus Limo, 2003, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, p. 146.

Tabla 7
Distribución, fuente de exposición y riesgos del Zinc

Zinc (Zn)	
Distribución	Es uno de los elementos esenciales más abundantes en el cuerpo humano, se encuentra en numerosos alimentos como lo son los productos de origen marino, las carnes rojas, derivados lácteos y huevos. Cuando se expone a la acción del aire, éste se recubre de una película de óxido que protege el metal de oxidaciones posteriores, por eso su uso en la protección del acero en la galvanización.
Fuente de exposición	El zinc metálico se troquea para la fabricación de piezas de automóvil, equipos eléctricos, juguetes, etc. El óxido de zinc se utiliza como pigmento para fabricación de pinturas, lacas y barnices. El cianuro de zinc se utiliza para electrodeposición sobre metales y el proceso de extracción del oro, también se usa como reactivo químico y pesticida.
Riesgos	En altas dosis varias sales de zinc pueden entrar al organismo por inhalación, a través de la piel o por ingestión y producir intoxicación. El cloruro de zinc produce úlceras cutáneas. En la metalurgia y la producción de zinc, las operaciones de soldadura y corte de metales galvanizados o zincados, pueden causar ataques de escalofríos, fiebre irregular, sudoración profusa, náuseas, entre otros

Nota: Características del Zinc. : Adaptado de: “Estudio de compuestos metálicos con ligandos de interés biológico (Tesis doctoral)”, por López Tévez, Williams, & Okulik, 2016, *Universidad Nacional de la Plata*, p. 166.

Tabla 8

Distribución, fuente de exposición y riesgos del Níquel

Níquel (Ni)	
Distribución	El níquel representa entre el 5 y 50% del peso de los meteoritos y se encuentra en forma de minerales, combinado con azufre, oxígeno. Se produce comercialmente más de 3000 aleaciones y compuestos de níquel principalmente se utiliza en la producción del acero inoxidable.
Fuente de exposición	Las aleaciones del níquel se emplean para la fabricación de monedas y en maquinarias las industrias de alimentos, como en galvanizado, la fabricación de las cintas magnéticas, componentes informáticos pigmentos para pinturas, moldes cerámicos.
Riesgos	La inhalación de compuestos de níquel es cancerígena para el ser humano. Sin embargo, no hay pruebas sobre el riesgo de carcinogénica derivado de la exposición al níquel por vía oral. La dermatitis alérgica de contacto es el efecto más frecuente de la exposición al níquel

Nota: Características del Ni : Adaptado de: “Capítulo 8: Aspectos químicos en Guías para la calidad del agua potable” por Organización Mundial de la Salud, 2006, 3ed., Vol.1, p. 408.

Tabla 9

Distribución, fuente de exposición y riesgos del Cadmio

Cadmio (Cd)	
Distribución	El cadmio no se halla en el ambiente como un metal puro, es abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos. El tiempo de permanencia en los suelos es de hasta 300 años, es liberado por las emisiones volcánicas y por quema de combustibles fósiles. El cadmio al igual que el zinc es muy resistente a la corrosión y se utiliza para la electrodeposición en otros metales, especialmente en el acero y el hierro.
Fuente de exposición	Las fuentes antropogénicas asociadas a las actividades industriales como ser refinamiento de zinc, soldaduras, pinturas, baterías, reactores nucleares, galvanoplastia y estabilizante de PVC entre otros, añaden de 3 a 10 veces más cadmio a la atmósfera que las fuentes naturales. También la minería, la metalurgia, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de madera, carbón o “plásticos”, la combustión de aceite y gasolina.
Riesgos	La inhalación de compuestos de cadmio en concentraciones en el aire superiores a 1 mg Cd/m ³ durante 8 horas puede producir una neumonitis química o edema pulmonar. Generalmente, los síntomas aparecen horas después de la exposición y son similares a los de la gripe o la fiebre por humos de metales.

Nota: Características del Cd: Adaptado de: “Capítulo 1: Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad” en Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo, por Nordberg et al., 2001, *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Subdirección General de Publicaciones-2000*, Vol.1, p.76.

“Los plaguicidas y metales no solo afectan ambientalmente al medio biótico, también afecta al medio abiótico por contaminación en los sedimentos (J. I. Santisteban, Mediavilla, García, Castro, & Zapata, 2009). Los sedimentos se consideran la acumulación de partículas procedentes de las rocas, suelos y residuo de sustancias que son acarreadas por las aguas que escurren. Todos estos materiales después de cierto tiempo se depositan a lo largo de los cauces” (Marín, 2015, p. 7). Según Richardson y McGroddy los sedimentos de río por su naturaleza son sustratos que permiten inferir en la historia agrícola de un lugar y las propiedades de los organismos (Masís et al., 2008).

Los sedimentos a su vez producen altos niveles de turbidez, limitando la penetración de la luz solar en la columna de agua, lo que impide el crecimiento de plantas acuáticas y dificultan el desove de los peces. Si existen altos niveles de sedimentación esto perturbaría las características hidráulicas del cauce, y con ello reducción de profundidad y posibles inundaciones por disminución de la capacidad de flujo en la cuenca por drenaje (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. et al., 1997).

Los plaguicidas y metales al ingresar al medio acuático por diversos mecanismos, ya sea por arrastre, infiltración y erosión de los suelos (principalmente de los agrícolas que fueron tratados con plaguicidas), el lavado de estos hace que los residuos alcancen los afluentes menores del sistema hidrográfico o tributarios, hasta entregarlos a embalses, lagos, hasta ríos y ecosistemas costeros, ocasionando que gran parte de estos compuestos se depositen paulatinamente en los sedimentos, donde pueden experimentar procesos como hidrólisis, degradación anaerobia o pueden adsorberse en húmicas, minerales y arcillas,

constituyendo así una fuente de sustancias tóxicas que pueden estar al alcance de organismos cercanos. Estos contaminantes en sistemas acuáticos pueden ser degradados, permanecer sin cambios, regresar a la atmósfera por volatilización, depositarse en los sedimentos, bioacumularse en los organismos de dichos ecosistemas e incluso biomagnificarse (Salamanca Niño et al., 2009).

Uno de los mecanismos que se emplean para determinar plaguicidas en sedimentos es la cromatografía de gases, éste es un método físico que se utiliza para determinar los químicos presentes en una mezcla y en qué concentración, su función es separar los componentes en dos fases, una de las cuales es estacionaria mientras la otra se mueve en una dirección definida (Olguín Pérez & Rodríguez Héctor, 2004). En la Figura 2 se observan los instrumentos necesarios para realizar el proceso de cromatografía de gases. Primeramente, el gas portador está contenido en cilindros y debe ser constante durante todo el análisis, el inyector se calienta a una temperatura mayor del punto de ebullición de los componentes para volatilizar completamente y de forma instantánea, luego la mezcla se introduce en la columna de cromatografía donde se realiza la separación. En el detector se cuantifica e indica lo que sale por dicha columna, y por último se analiza y evalúa los datos obtenidos en el proceso (Cortés, 2015).

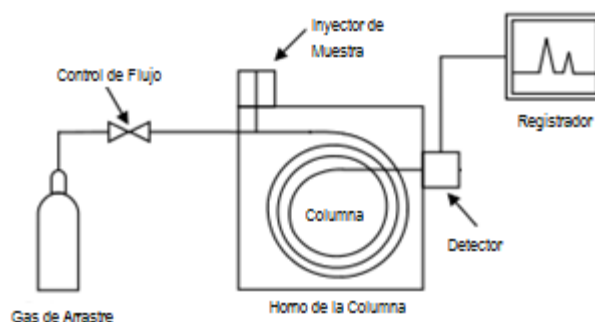


Figura 2. Estructura del método de Cromatografía de gases. Adaptado de "Universidad de Murcia: Programa de Actualización y Especialización "ON LINE" en Nuevas Tecnologías y Contaminación de Atmósferas, para

PYMEs. Módulo VI - Métodos y Técnicas Avanzadas en el Control de la Contaminación Propia. Unidad VI-1: Cromatografía de gases y espectrometría por tiempo de vuelo (TOF) Fundamentos de la cromatografía de gases”, de Requena et al., n.d., Recuperado Julio 7, 2017, de <http://www.um.es/LEQ/Atmosferas/index.htm>

La cromatografía de gases en años recientes es utilizada para la caracterización de mezclas complejas, hoy en día tiene un lugar importante en la industria petrolera para el análisis de hidrocarburos ligeros, debido al alto nivel de resolución que aporta, otra de sus aplicaciones importantes son la determinación de pureza, estudios de contaminantes del agua como plaguicidas en el agua de lagos, desechos industriales descargados en río y lagunas (Ruiz Guerrero, Vendeuvre, Thiebaut, Bertoincini, & Espinat, 2006).

Entre las técnicas de determinación de metales se encuentra la espectrofotometría de adsorción atómica (Figura 3) que es un procedimiento capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos de la tabla periódica. Este método se basa en la adsorción, emisión y fluorescencia de radiación electromagnética por partículas atómicas. Se emplean principalmente radiaciones del espectro ultravioleta (UV) y rayos X (Arboleda, Bustamante, Fernandez, Fierro, & Lucio, 2011). Según Morral la aplicación de la absorción atómica se basa fundamentalmente en la fuente de absorción que presentan algunos átomos a longitudes de ondas características, que coinciden con las líneas del espectro de emisión del metal (Contreras Niño, Ríos Reyes, & Vargas Fiallo, 2011).

Cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, una lámpara de fuente hace que el método sea relativamente libre de interferencias espectrales o la radiación. La cantidad de energía en la longitud de onda característica absorbida en la llama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra (Londoño Posso & Alzate Rodríguez, 2013).

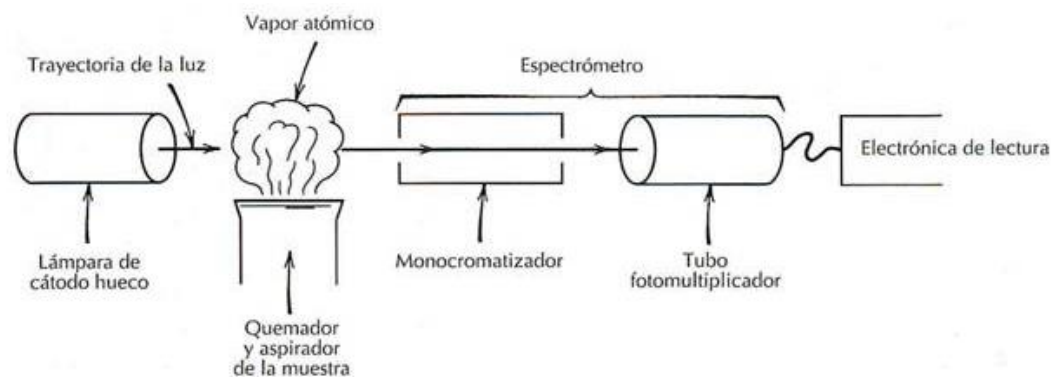


Figura 3. Equipo de espectrofotometría de adsorción atómica. Recuperado de “Técnicas químicas analíticas” de Servicio Geológico Mexicano, 2013, Recuperado Julio 7, 2017, de <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Tecnicas-quimicas-analiticas.html>

Esta técnica es muy útil en la metalurgia, dado que permite determinar diversos elementos en un amplio rango de concentraciones. Sus dificultades radican en la puesta de solución de aleaciones, también es útil cuando se debe analizar muestras geológicas, biológicas y en la determinación de la concentración de metales pesados en aguas y sedimentos (González, Ahumada, Medina, Neira, & González, 2004).

Para calcular o identificar el estado de los contaminantes metálicos en un espacio, se tienen en cuenta los índices de contaminación, entre ellos se relacionan los siguientes:

El Factor de Contaminación (FC) como su nombre lo indica, busca encontrar los niveles de contaminación de un metal pesado, este índice relaciona los niveles de un elemento con los niveles de referencia del mismo, su escala va desde factor de contaminación bajo hasta factor de contaminación muy alto (Loska, Wiechulla, & Korus, 2004).

La Carga de Contaminación (ICC), es un índice que se emplea para conocer la cantidad de elementos en una zona. Éste se calcula como la raíz n -ésima de la multiplicación de los

factores de contaminación, dando como resultado valores que indican si la zona está contaminada, o por el contrario no está contaminada (Iqbal, Saleem, & Shah, 2016).

El grado de contaminación (GC), es la suma de todos los factores de contaminación para el sitio determinado, esto nos presentara si la contaminación en una zona es baja, moderada, considerada o muy alta (El Amier, Elnaggar, & El Alfy, 2017)

El índice de Geoacumulación (IGEO) tiene el objetivo de establecer la medida en que los metales se extienden en sedimentos o suelos, a su vez es la medida para la cantidad de bioelementos admitida por un sedimento, relacionando las concentraciones actuales con las de referencia. Los niveles se extienden de prácticamente sin contaminación, hasta extremadamente contaminado (Bergues Garrido, 2011). En la Tabla 10 se describen las categorías y la ecuación que describe cada índice.

Tabla 10
Índices para Metales Pesados

Índices	Descripción	Métodos
Índice de Carga de Contaminación (FC)	Para encontrar el nivel de contaminación de un metal. Categorías de FC: <1 = bajo. 1-3 = moderado. 3-6 = considerable. ≥6 = muy alto.	$FC = \frac{C_{metal}}{C_{Valor\ de\ Fondo}}$ Donde, <i>C_{metal}</i> : Concentración medida del metal. <i>C_{Valor de Fondo}</i> : Concentración del metal en la corteza.
	Proporciona una cierta comprensión del público de la zona acerca de la cantidad de un componente en el medio ambiente. Categorías de ICC: > 1 = contaminadas. <1 = ninguna contaminación.	$ICC = (FC_1 * FC_2 * ... * FC_n)^{(1/n)}$ Donde, <i>n</i> : Número de metales. <i>FC</i> : Factor de contaminación.
	La suma de todos los factores de contaminación de un sitio determinado. Categorías de CC: <n (bajo CC) $n \leq GC < 2n$ (moderado GC) $2n \leq GC < 4n$ (considerable GC) $GC > 4n$ (muy alto GC)	$GC = \sum_{i=1}^n FC_i$ Donde, <i>n</i> : Número de metales. <i>FC</i> : es la única FC en un punto determinado.
Índice de Geo-acumulación (IGEO)	Para determinar y definir la contaminación metálica en los sedimentos mediante la comparación de las concentraciones actuales con los niveles pre-industriales. Categorías de IGEO: $IGEO \leq 0$ = no contaminado $0 < IGEO \leq 1$ = (no contaminado a moderadamente contaminada. $1 < IGEO \leq 2$ = moderadamente contaminada. $2 < IGEO \leq 3$ = moderadamente a contaminado fuertemente. $3 < IGEO \leq 4$ = fuertemente contaminada. $4 < IGEO \leq 5$ = fuertemente a extremadamente contaminado. $5 \leq IGEO$ = extremadamente contaminado.	$IGEO = \log_2 \left(\frac{C_{metal}}{1.5 * C_{Valor\ de\ Fondo}} \right)$ Donde, <i>C_{metal}</i> : Concentración medida del metal. <i>C_{Valor de Fondo}</i> : Concentración del metal en la corteza. 1.5: es un factor de corrección de matriz de fondo.

Nota: Índices evaluados en esta investigación. Adaptado de “Evaluation and mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt”. Por El Amier et al., 2017, *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, p. 55-66.

Finalmente, para conocer la relación directa o inversamente proporcional de dos o más variables, es común encontrar la aplicación del coeficiente de correlación de Spearman dado que los datos de campo frecuentemente obtienen distribuciones no normales. Este coeficiente oscila entre -1 y 1, con 0 indicando ninguna relación en absoluto, por cuanto, cuanto mayor sea el valor absoluto del número, mayor es la relación entre las dos variables. Una correlación positiva significa que ambas variables se mueven en la misma dirección. Una correlación negativa significa que las variables se mueven en direcciones opuestas (Puth, Neuhäuser, & Ruxton, 2015). Existen diferentes escalas valorativas para la interpretación de Spearman, Prion & Haerling, en (2014) expresaron que los resultados son los siguientes: 0 a ± 0.20 es despreciable, ± 0.21 a ± 0.40 es débil, ± 0.41 a ± 0.60 es moderada, ± 0.61 a 0.80 es fuerte, y ± 0.81 a 1.00 se considera muy fuerte, mientras otros autores a partir de ± 0.50 a ± 1.00 la consideran significativa (L. Wang, Zhang, Lou, Ke, & Zheng, 2017).

6. Metodología

6.1 Descripción del área de estudio

El Embalse del Guájaro se ubica al sur del Departamento del Atlántico (Figura 4), circunscrito por los municipios Luruaco, Repelón, Manatí y Sabanalarga. Específicamente entre los meridianos $75^{\circ}15'11.20''$ - $74^{\circ}54'13.28''$ con longitudes Oeste y los paralelos $10^{\circ}46'51.19''$ - $10^{\circ}24'06.75''$ de latitud Norte (Carrillo Sarmiento, 2012; CRA & Unimagdalena, 2012).

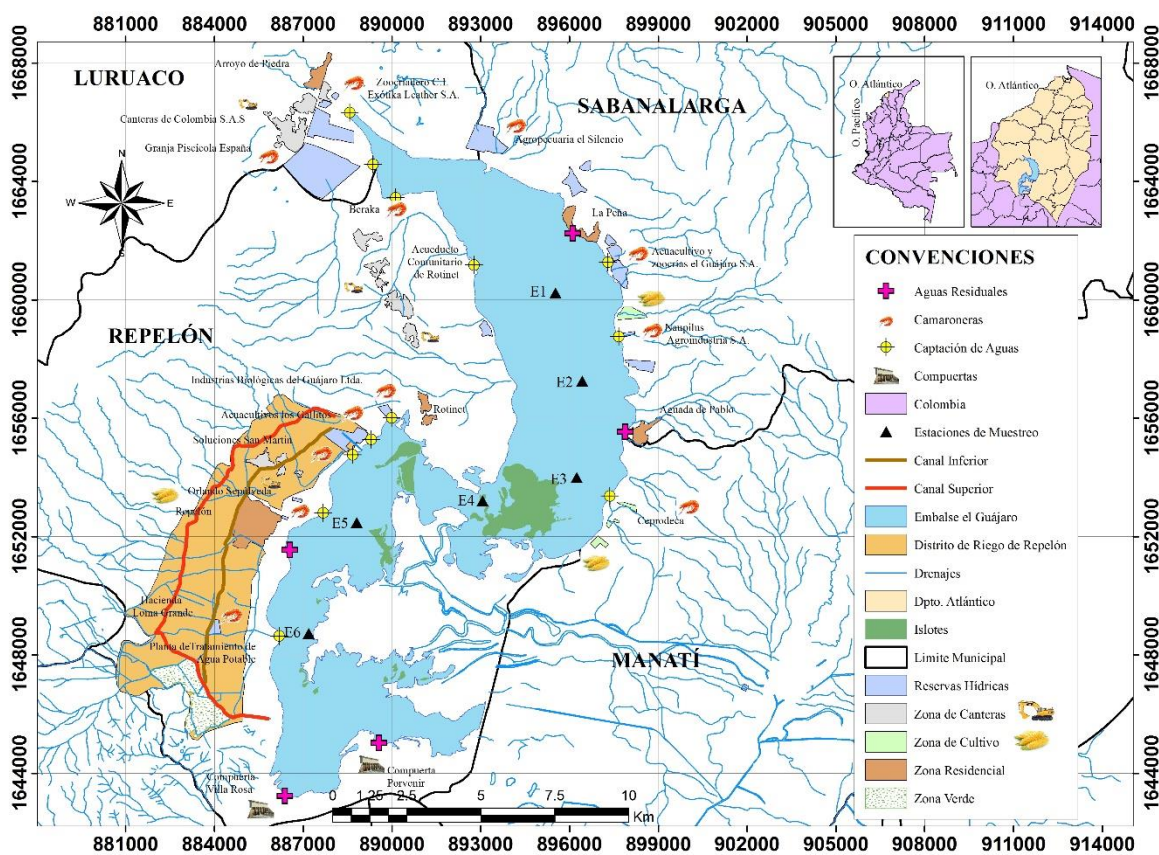


Figura 4. Ubicación Geográfica del Embalse el Guájaro, Atlántico Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

“De las 22.000 Ha. de humedales lenticos, se estiman 16.000 Ha en el Embalse el Guájaro, (...). Se redujo hasta las 12.000 Ha., lo que permite determinar una pérdida de más de 4000 Ha. del espejo en las últimas décadas” (CRA, 2012, p. 3).

El embalse fue formado al modificarse una gran área del plano inundable de la cuenca del río Magdalena, por medio de la construcción de un terraplén de 11 kilómetros de longitud en los cauces de pequeñas ciénagas (Molina Larrahondo, 1992). Concretamente, su origen se remonta a la unión artificial de la fusión de tres ciénagas: “La Ciénaga de La Peña en la parte norte, la Ciénaga Del Medio en su parte media y la Ciénaga del Guájaro en su extremo sur” (A. Escolar Vega, 2007, p. 18). Entre los años 1964 y 1965, a través de una obra hidráulica realizada por el antiguo Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA), con el fin de disponer de distritos de riego, que permitieran incrementar la capacidad productiva de la región sur del Atlántico, sin embargo la mayoría de canales de riego implementados se han ido colmatando por la falta de mantenimiento, por lo que actualmente el uso del embalse se centró en la pesca artesanal de los habitantes circundantes (Resolución 0648, 2015).

6.2 Campaña de muestreo y colecta de datos

Con el objetivo de evaluar los niveles de concentraciones de plaguicidas (organoclorados y organofosforados) y metales pesados (Zn, Cr, Ni, Pb, Cd, y Hg) en los sedimentos superficiales del Embalse el Guájaro, Atlántico, se inició con la recolección de información directa sobre uso y aplicación de plaguicidas mediante una prueba piloto “encuesta” (Anexo A). Se desarrollaron 2 muestreos comprendiendo las estaciones según se indican en la Figura 5. Estaciones de Muestreo en el Embale el Guájaro, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

cuyas coordenadas se relacionan en la Tabla 11, cubriendo periodo climático húmedo en octubre y diciembre del 2016.

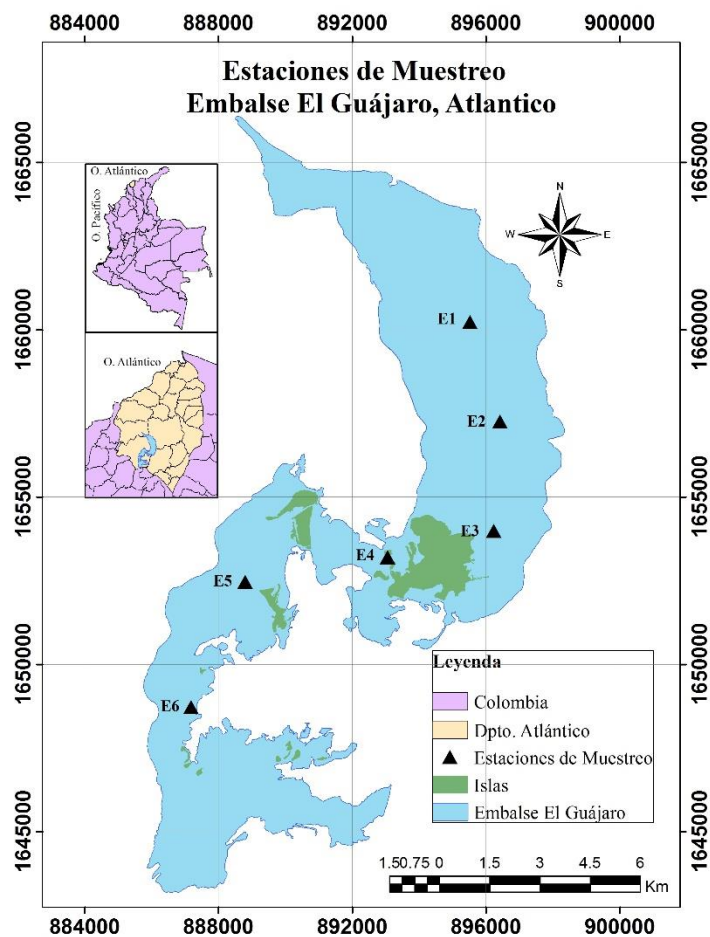


Figura 5. Estaciones de Muestreo en el Embalse el Guájaró, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

Tabla 11
Estaciones de Muestreo

Estaciones de Muestreo	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Manga Sirgas	
	Longitud	Latitud	Easting	Northing
E1	-75.03533	10.56717	895536.59	1660209.31
E2	-75.01407	10.22688	897753.10	1622557.49
E3	-75.02876	10.51097	896236.94	1653989.89
E4	-75.05775	10.50376	893060.56	1653201.99
E5	-75.09659	10.49700	888805.70	1652467.62
E6	-75.11131	10.46307	887181.74	1648719.21

Nota: Coordenadas Geográficas y Magna Sirgas de las Estaciones de Muestreo. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

En la toma de muestras para el análisis de POC y POF se utilizó una draga EKMAN y botellas de vidrio boca ancha con 1L de capacidad. Previamente las botellas fueron lavadas con detergente y agua desionizada, secadas al horno a 105°C, enjuagadas en hexano, nuevamente llevadas al horno a la misma temperatura y finalmente recubiertas con bolsa plástica oscura para evitar el contacto con la luz, todo esto siguiendo lo estipulado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, (2003) y Trujillo Ramirez, (2006). Para la toma de muestras para el análisis de metales pesados, se emplearon botellas de polietileno de 1L. Las botellas fueron previamente remojadas en aproximadamente 10% de ácido nítrico durante 24 horas y enjuagadas con cantidades copiosas de agua desionizada de acuerdo con lo plateado por Australian and New Zealand And Conservation Environment Council. & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand., (2000) con la intención de reducir al máximo errores al emplear recipientes con uso anterior.

Los sedimentos fueron agregados a las botellas llenándolas en su totalidad, se conservaron en hielo durante el transporte y se almacenaron a aproximadamente 4°C en el laboratorio hasta su traslado al laboratorio certificado. Solo para el análisis de plaguicidas se selló la boca con una capa de papel aluminio y tapa para evitar su posible contaminación, biodegradación o volatilización de la muestra hasta su análisis, que fueron realizados por el “Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba” a lo largo de todas las campañas mediante las técnicas descritas en el Standard Methods EPA 3535A, EPA 3550C y EPA 1660C por el método cromatografía de gases con el el GC-MS trace 1310-ISQ Thermo Scientific (Figura 6) y específicamente para la detección de Clorpirifos y Cipermetrina se usó el equipo UHPLC – DAD ultimate 3000 Thermo–ionex (Figura 7). En

cuanto al análisis para los metales pesados siguieron lo descrito Standard Methods EPA 3051-Absorción Atómica utilizando el ICE 3500 Thermo Scientific (Figura 8), DMA 80 Direct Mercury Analyzer (Figura 9) y PSA Analytical Millennium System (Figura 10).

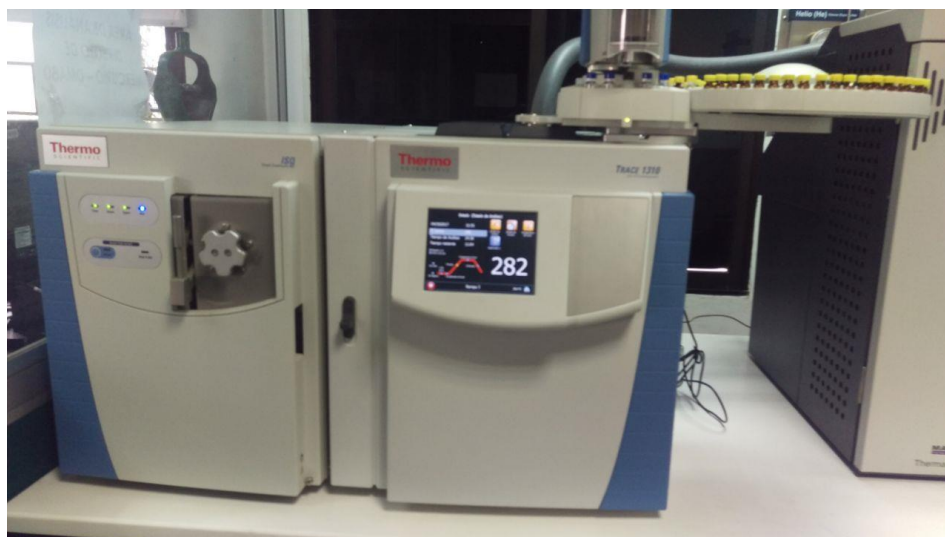


Figura 6. GC-MS trace 1310-ISQ Thermo Scientific. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.



Figura 7. UHPLC – DAD ultimate 3000 Thermo– ionex Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.



Figura 8. ICE 3500 Thermo Scientific. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.



Figura 9. DMA 80 Direct Mercury Analyzer. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.



Figura 10. PSA Analytical Millennium System. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

6.3 Geoestadística

Partiendo de los resultados obtenidos del procesamiento de muestras, se procedió a representar la distribución de las concentraciones de los plaguicidas y metales encontrados, mediante un sistema de información geográfica, SIG. Para esto, se delimitó el embalse el Guájaro por medio de un polígono en Google Earth, contorno que contiene valores de longitud, latitud, altitud y mediante 3D Route Builder Plus se exportaron en un formato XYZ. Posteriormente se convirtieron al sistema de coordenadas Magna-Sirgas utilizando el software Franson Coordtrans v2.3. Por último, se empleó el método Distancia Inversa Ponderada (IDW por sus siglas en inglés). Este método forma parte del set de herramientas de Spatial Analysis Tools del Arctoolbox en la herramienta ArcMap v10.1, y corresponde a uno de los métodos geoestadísticos más frecuentemente usados para la realización de análisis espaciales junto con Kriging (Kleijnen, 2009).

6.4 Normativa

En Colombia no existe un marco normativo que regule los contenidos de plaguicidas y metales pesados en los sedimentos; por esta razón, los datos obtenidos se compararon con guías internacionales. Para las concentraciones de plaguicidas se contemplaron las guías de calidad ambiental Canadiense (por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines-CEQG) porque expresa valores máximos para POC y POF. Por su parte, para los metales se utilizaron los niveles de fondo (background levels) establecidos en la tabla de referencia (Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment) emitida por la Administración Oceanográfica Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration) y con la CEQG que para el Mercurio, Plomo, Zinc, Cromo, Cadmio y Níquel establece dos valores:

la Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG, por sus siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guideline), que representa el nivel máximo para que no ocurran efectos biológicos adversos, y el Nivel de Efecto Probable (PEL, por sus siglas en inglés, Probable Effect Level), que es el nivel máximo para que ocurran posibles efectos biológicos adversos. Los límites máximos permisibles (LMP) están enlistados en la Tabla 16 (Laino Guanes et al., 2015). Para comparar las concentraciones encontradas de metales con los límites estipulados por las guías internacionales se elaboraron gráficos.

6.5 Índices de metales pesados

Se calcularon el Factor de contaminación (FC), el índice de carga de contaminación (ICC), el Grado de Contaminación (GC) y el Índice de Geo-acumulación (IGEO), empleando las relaciones descritas en la Tabla 10.

6.6 Análisis estadístico

La distribución normal de las concentraciones de metales detectados y parámetros fisicoquímicos (materia orgánica y pH) de los sedimentos se evaluó con la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, seguido del cálculo de correlación de Spearman al encontrar una distribución no normal. Los cálculos se efectuaron mediante el uso del paquete de Software IBM SPSS Statistics Visor, Versión 22 (McFarlane et al., 2011). En la figura 11 se relaciona un diagrama que describe el diseño metodológico de esta investigación.

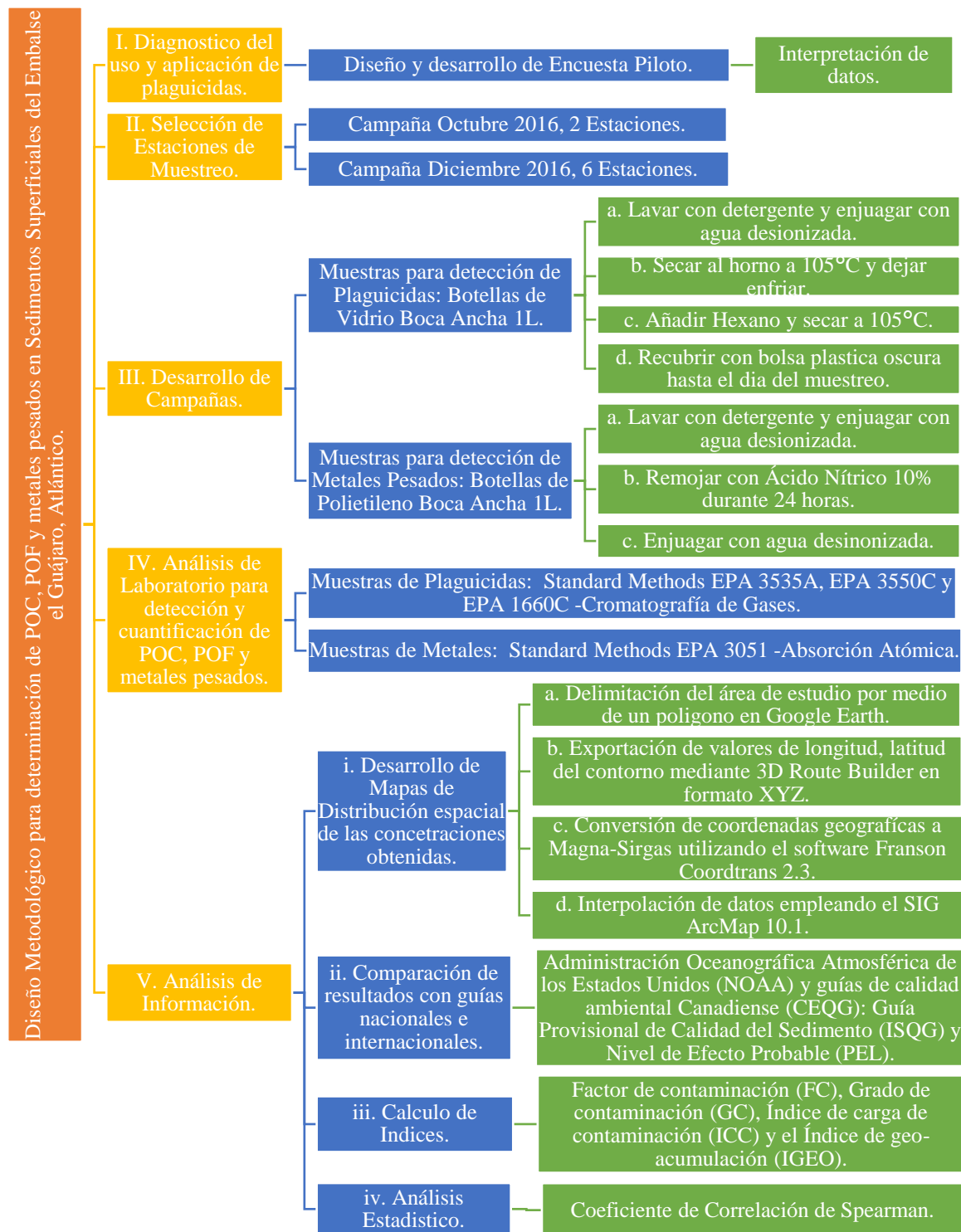


Figura 11. Diseño metodológico para la determinación de plaguicidas y metales pesados en sedimentos del embalse El Guájaro, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7. Resultados y Discusión

Los ríos son unos de los mecanismos físicos para la evolución del paisaje terrestre al ser agentes de erosión y transporte, remueven desde los continentes hacia los océanos agua y sedimentos, que a su vez, contienen elementos o sustancias (nutrientes, plaguicidas, metales pesados) que han ingresado mediante la sedimentación de partículas emitidas a la atmosfera, ya sea por procesos naturales (actividad volcánica) o antropogénicos (síntesis químicas, agricultura, quema de combustibles fósiles, y fundición de metales); por vía terrestre a través de filtraciones de vertidos, de escorrentías superficiales de terrenos contaminados (minería, utilización de lodos no desactivados como abono, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, deforestación y uso de químicos para adecuación de tierras para ganadería y agricultura) y de vía directa de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales (Restrepo Ángel, 2005; Rosas Rodríguez, 2001).

En ese sentido, como fuente principal de aporte de metales pesados, POC y POF al embalse el Guájaro se destaca, el canal del Dique como bifurcación artificial del Río Magdalena en la región Caribe Colombiana, que a través de dos compuertas de regulación hidráulica ubicadas en el corregimiento de Villa Rosa y Porvenir en la parte sur del embalse (Figura 12), aportan sedimentos con una carga igual a 50.000 ton/año. Conjuntamente, la cercanía a áreas de cultivo como el distrito de Riego de Repelón donde se utilizan amplia variedad de sustancias químicas para proteger las cosechas (Figura 13), la presencia de minas de explotación del suelo (Figura 14) para la extracción de materiales de construcción como calizas, arena y piedras ubicadas en la parte norte contribuyen con el 10% al 15% del

total de sedimentos entregados por erosión laminar, que posiblemente sean agregados mediante deposición atmosférica y esorrentía por medio de los tributarios que hacen parte de la red hidrográfica del Embalse del Guájaro (Figura 15), que está conformada por arroyos que discurren sus aguas de caudales intermitentes, es decir, corrientes que escurren en el período lluvioso y se secan durante el verano (Zafra, Santamaria, & Torres, 2015). En general la red de arroyos, discurre de los cerros y colinas, que circundan las zonas bajas o planicies de inundación del embalse (Carrillo Sarmiento, 2012; Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA, 2014). A esto se le añade la inadecuada disposición de residuos sólidos y vertidos líquidos de aguas municipales e industriales.

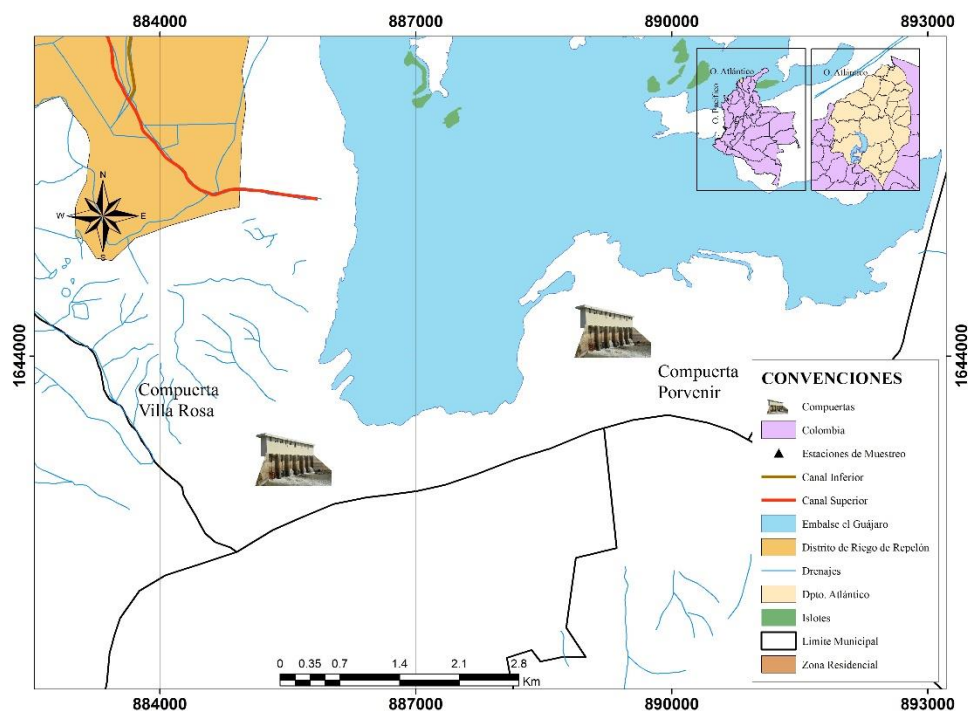


Figura 12. Compuertas Villa Rosa y Porvenir del Embalse el Guájaro, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

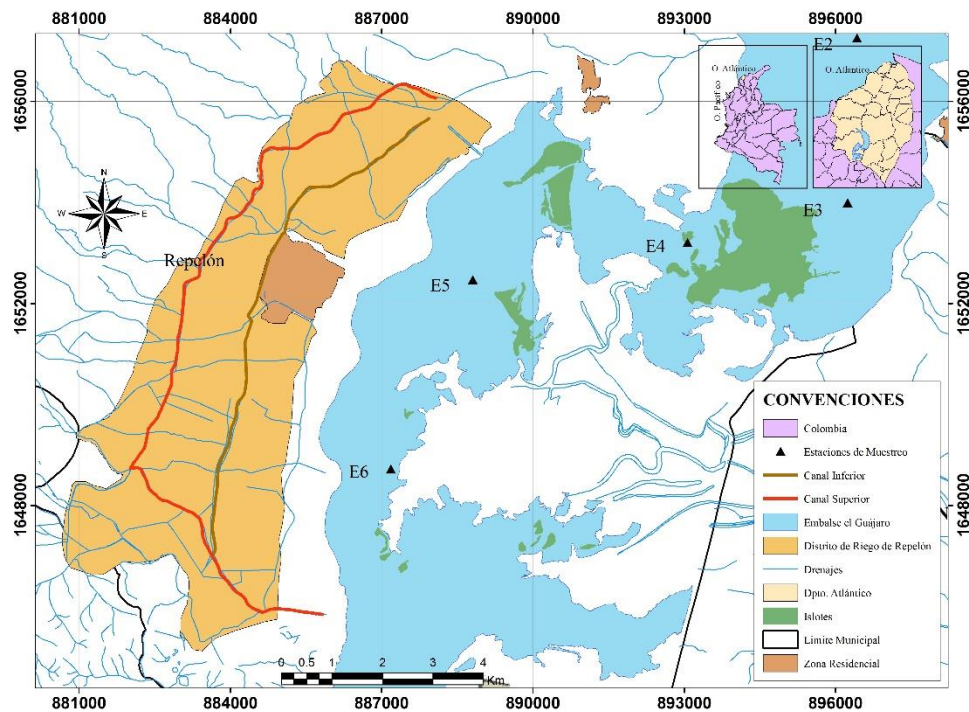


Figura 13. Distrito de Riego de Repelón, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

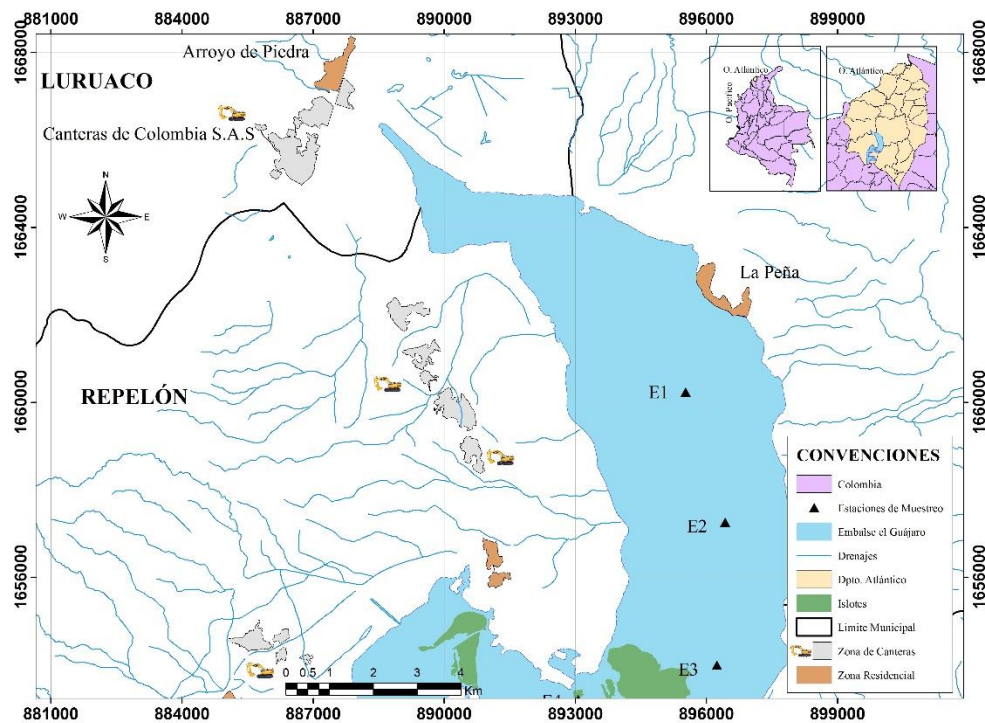


Figura 14. Canteras en el Embalse el Guájaro, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

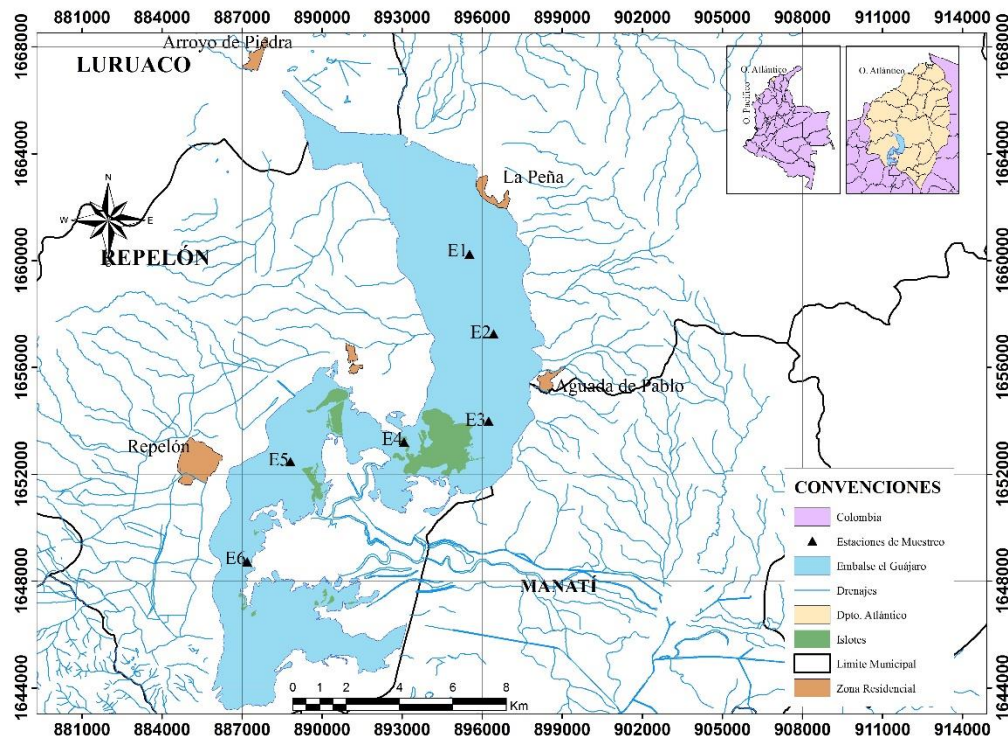


Figura 15. Drenaje en el Embalse el Guájaró, Atlántico. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

En la Tabla 12 se relacionan los usuarios con concesión y permiso de vertimientos en el Embalse del Guájaró registrados en la CRA en 2014. Además, en la Figura 4 se encuentran ubicados geográficamente cada una de las actividades identificadas en el área que circunscribe al embalse: como las zonas residenciales, carteras, cultivos, drenaje, compuertas, captación de aguas y vertidos.

Tabla 12

Usuarios con concesión y permiso de vertimientos en el Embalse el Guájaro

Nombre Usuario	Fuente	Municipio
Zoocriadero C.I. Exótika Leather S.A. (Antes C.I. Zoobem S.A.)	Embalse del Guájaro	Luruaco
Granja Piscícola España	Embalse del Guájaro	Luruaco
Canteras de Colombia S.A.S (Finca Acuícola España) ¹	Embalse del Guájaro	Luruaco
Hacienda Rancho Grande ¹	Embalse del Guájaro	Luruaco
Hacienda Loma Grande ¹	Embalse del Guájaro - Arroyo Temporal Salto del Burro	Repelón
Agregados del Atlántico (Transportes, Agregados y Maquinaria Ltda., Cantera Mana) ¹	Embalse del Guájaro	Repelón
Zoocriadero Zooagro	Embalse del Guájaro	Repelón
Agrozoocría	Embalse del Guájaro	Repelón
Empresa de Acueducto y Alcantarillado-Repelón	Embalse del Guájaro	Repelón
Agropecuaria Mogut	Embalse del Guájaro	Sabanalarga
Distrito de Riego Repelón-INCODER ¹	Embalse del Guájaro	Repelón
Acueducto Comunitario de Rotinet ¹	Embalse del Guájaro	Repelón
Jireh Camaronera Ltda ¹	Embalse del Guájaro	Luruaco
Agropecuaria el Silencio	Embalse del Guájaro	Sabanalarga
Acuacultivo y zoocrías el Guájaro S.A.	Embalse del Guájaro	Sabanalarga
Beraka	Embalse del Guájaro	Repelón
Naupilus Agroindustria S.A.	Embalse del Guájaro	Sabanalarga
Ceprodeca	Embalse del Guájaro	Manatí
Industrias Biológicas del Guájaro Ltda.	Embalse del Guájaro	Repelón
Orlando Sepúlveda	Embalse del Guájaro	Repelón
Acuacultivos los Gallitos	Embalse del Guájaro	Repelón
Soluciones San Martin	Embalse del Guájaro	Repelón

Nota: Adaptado de “Diagnóstico inicial para el ordenamiento del embalse del Guájaro y la ciénaga de Luruaco”, por Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA, 2014, p.203. ¹Usuario con concesión, pero no vertido

Atendiendo a lo anterior y conociendo la alianza estratégica de la gobernación y la corporación autónoma regional del departamento del Atlántico para potenciar el embalse del Guájaro y específicamente los municipios de Manatí, Repelón y el corregimiento de Aguada de Pablo en Sabanalarga, se realizó una primera siembra de 4 millones de Alevinos de Bocachico a mediados del mes de Noviembre de 2016; los cuales entran en contacto con las sustancias toxicas presentes en el ecosistema (plaguicidas y metales pesados) permitiendo su ascenso en los eslabones de la cadena trófica retomando la importancia de este trabajo de investigación.

7.1 Encuestas

Se encuestaron un total de 37 agricultores de sexo masculino con un rango de edad que oscila entre los 39 y 89 años cuyo promedio es 63.3 años, poseen estudios primarios hasta universitarios completos (75.7%), ejercen sus labores en predios propios (81.1%) y arrendados (10.8%) a lo largo del Distrito de Riego del municipio de Repelón (Figura 13), del cual se abastecen el 83.8% y tuvieron su última cosecha en el periodo 2015-2016 (54.1%). Así mismo, mencionaron que las aguas de escorrentías de sus propiedades llegan a fuentes de aguas cercanas como el embalse el Guájaro (91.9%).

Han cultivado maíz (24.8%), plátano (23%), yuca (19.5%), patilla y ahuyama (6.2% c/u), ñame, melón y tomate (3.5% c/u), frijol (2.7%), moringa y semilla limpia (1.8% c/u), arroz, cañafístula, eucalipto y pasto para ganado (0.9% c/u) a través de sus años de trabajo.

Las plagas más frecuentes como Gusano Cogollero y Elliotis> Sigatoka Negra y Amarilla> Mosca Blanca> Picudo, son controladas con plaguicidas que adquieren principalmente por su nombre comercial en los almacenes, entre ellos se incluyen el

Lorsban 4E (32.8%), seguido del Roundup (10.4%) y Manzate 200 (9%), que emplean desde hace más de 10 años (51.4%). Se procedió a clasificarlos según su grado de toxicidad y grupo químico del ingrediente activo, valores que se reportan y grafican en la Figura 16 y la as fumigaciones con Lorsban 4E.

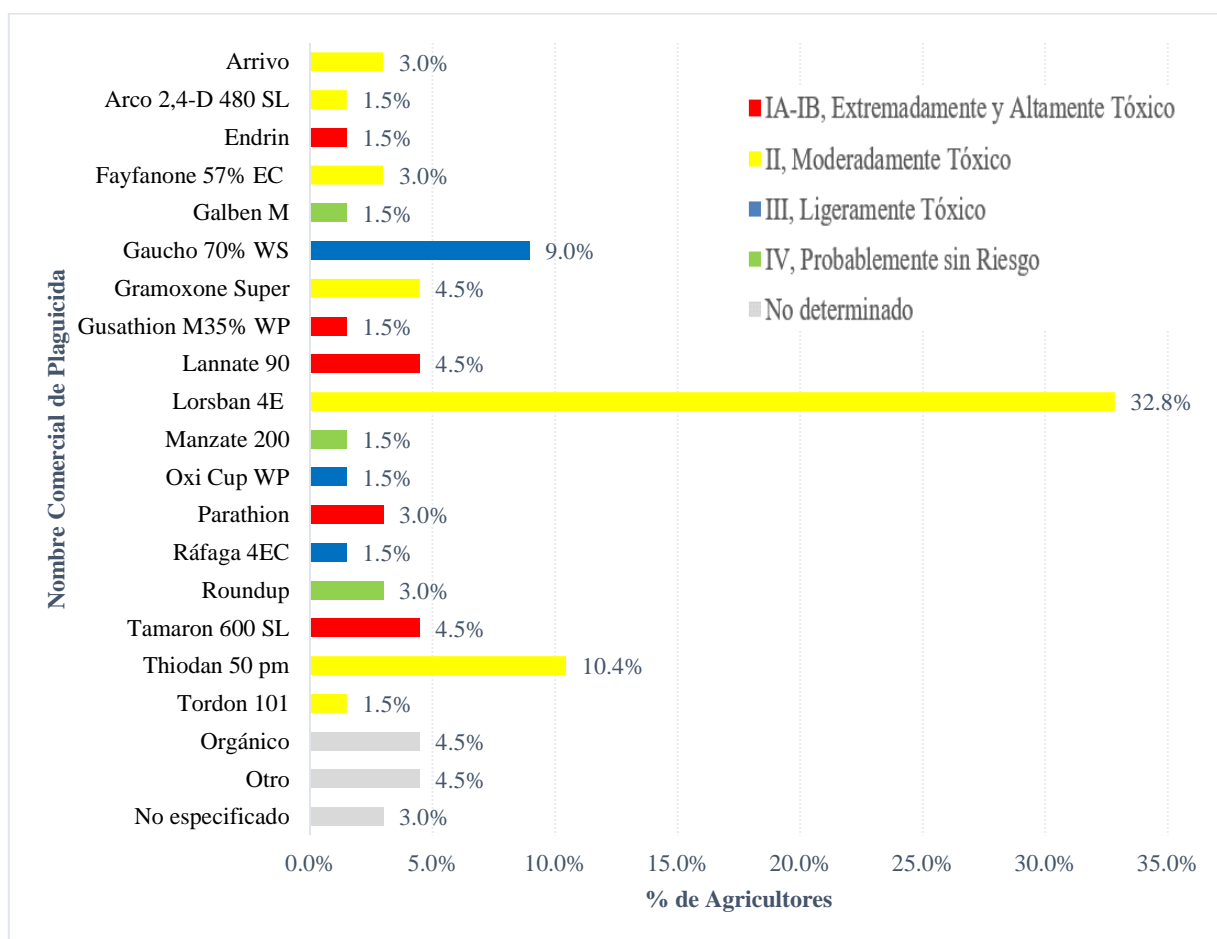


Figura 16. Relación Plaguicidas Vs % de Agricultores. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

Tabla 13, observándose que el 23.8% emplean productos extremadamente, 33.3% altamente, 14.3% moderadamente y ligeramente tóxicos, y probablemente sin riesgo cada uno. De acuerdo con el grupo químico de sus ingredientes activos hay uso de variedad de plaguicidas, pero en mayor proporción de POF correspondiente a las fumigaciones con Lorsban 4E.

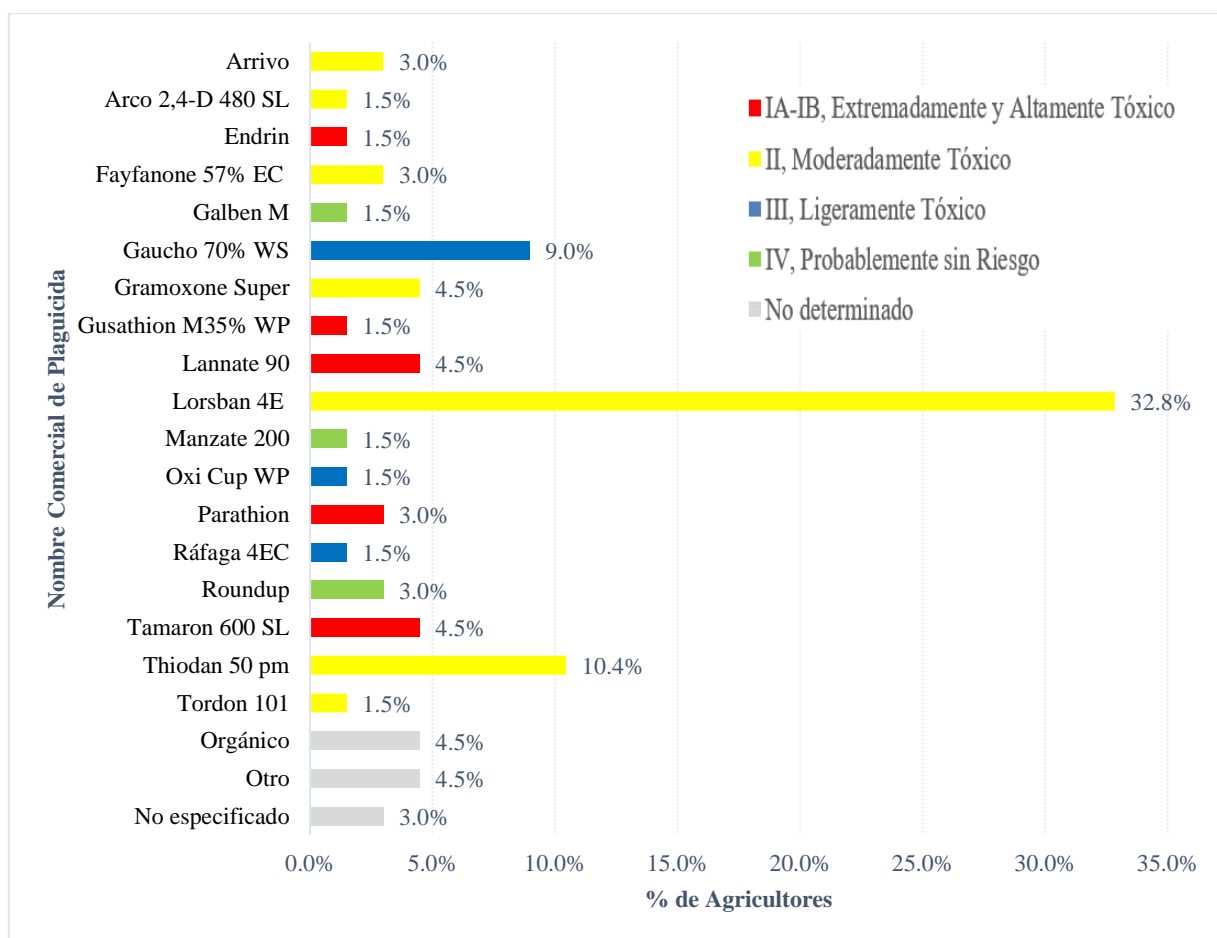


Figura 16. Relación Plaguicidas Vs % de Agricultores. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

Tabla 13

Clasificación de Plaguicidas aplicados en el Distrito de Riego de Repelón, Atlántico

Nombre comercial	Ingrediente activo	Clasificación		Agricultor ¹	
		Grupo Químico	Toxicidad ²	No.	%
Arrivo	Cipermetrina:C22H19Cl2NO3	Piretroide	II (Amarillo)	2	3.0
Endrin ³	Endrin:C12H8Cl6O	Organoclorado	I b (Rojo)	1	1.5
Roundup	Glifosato:C3H8NO5P	Fosfonatos, derivados de glicina o alifáticos	IV (Verde)	7	10.4
Gramoxone Súper	Paraquat:C12H14Cl2N2	Bipiridilos	II (Amarillo)	3	4.5
Gusathion M35% WP	Azinfos Metil:C10PN3H12S2O3	Organofosforado	I b (Rojo)	2	3.0
Gaucho 70% WS	Imidacloprid:C9H10ClN5O2	Cloronicotinilo	III (Azul)	1	1.5
Arco 2,4-D 480 SL	2,4- D:C8H6Cl2O3	Fenoxiaceticos	II (Amarillo)	2	3.0
	+Dimetilamina:C2H7N				
Lannate 90	Metomil:C5H10N2O2S	Carbamato	I b (Rojo)	1	1.5
Lorsban 4E	Clorpirifos:C9H11Cl3NO3PS	Organofosforado	II (Amarillo)	22	32.8
Fayfanone 57% EC	Malathion:C10H19O6PS2	Organofosforado	II (Amarillo)	3	4.5
Galben M	Benalaxil:C20H23NO3	Acilalaninas	IV (Verde)	1	1.5
	+Mancozeb:C8H12MnN4S8Zn				
Manzate 200	Mancozeb:C8H12MnN4S8Zn	Ditiocarbamatos	IV (Verde)	6	9.0
Oxi Cup WP	Oxicloruro de	Cúpricos	III (Azul)	1	1.5
	Cobre:Cu2(OH)3Cl				
Parathion ³	Paration:C10H14NO5PS	Organoclorado	I a (Rojo)	2	3.0
Ráfaga 4EC	Clorpirifos:C9H11Cl3NO3PS	Organoclorado	III (Azul)	1	1.5
Tamaron 600 SL	Metamidofos: C2H8NO2PS	Organofosforado	I a (Rojo)	1	1.5
Thiodan 50 pm	Endosulfán:C9H6Cl6O3S	Derivado del ácido sulfuroso	II (Amarillo)	2	3.0
Tordon 101	2,4-D:C8H6Cl2O3	Derivados del ácido piconílico / Fenoxiaceticos	II (Amarillo)	1	1.5
	+Picloram:C6H3Cl3N2O2				
Orgánico	-	-	-	3	4.5
Otro	-	-	-	3	4.5
No especificado	-	-	-	2	3.0

Nota: Adaptado de “Listado de plaguicidas autorizados por el Sistema de Agricultura y Ganado en Chile” por Red de Acción de Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina RAP-AL, 2004. ¹Un mismo individuo puede emplear diferentes productos. ²Clasificación toxicológica según el OMS: IA: extremadamente toxico, IB: altamente toxico, II: moderadamente toxico, III: ligeramente toxico, IV: probablemente sin riesgo. ³Datos tomado publicados por De la Cruz, Bravo, & Ramírez, 2010 -No determinado.

La frecuencia de aplicación y dosis en mililitro/hectárea/mes de plaguicidas que esparcen a sus cultivos mediante bombas de aspersión están íntimamente relacionada con la persistencia de la plaga, sus cálculos están basados principalmente en instrucciones de técnicos (67.6%) y la experiencia adquirida de los encuestados (21.6%), donde solo el 32.4% utilizan utensilios exclusivos y adecuados para preparar la dosis. En la Figura 17 se exponen las frecuencias y dosis sin distinción del tipo de plaguicidas aplicado siendo las de mayor proporción 32.4% cada dos a cuatro veces al mes y 29.7% para 900ml/h/mes o más.

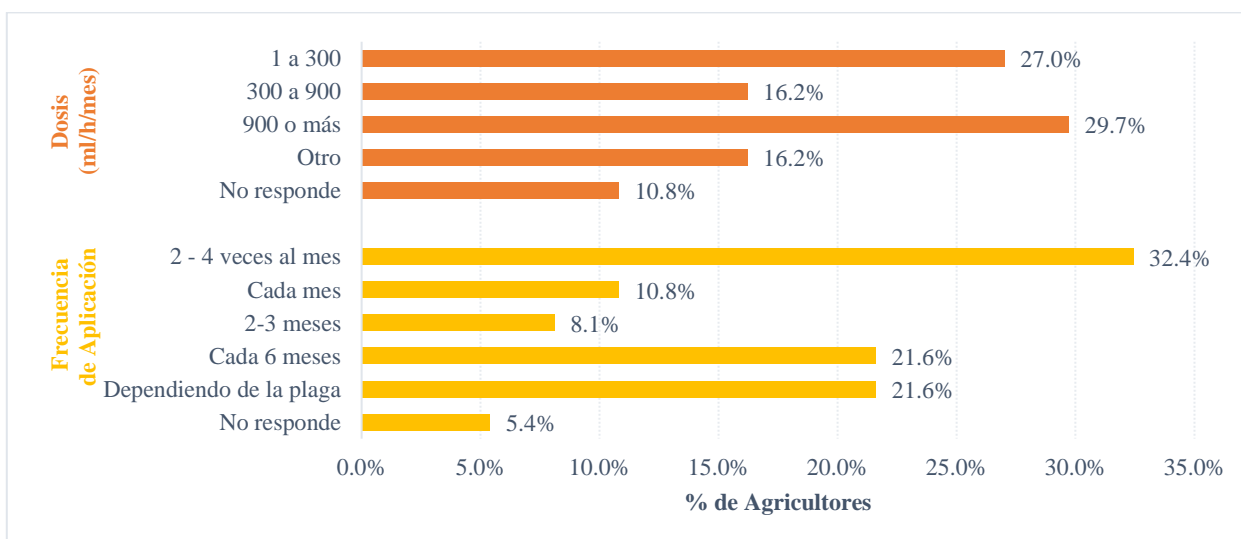


Figura 17. Frecuencia y Dosis de aplicación de Plaguicidas Vs % de agricultores. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

Con respecto a la protección personal se obtuvo que la indumentaria más usada incluye guantes (75.7%), botas de caucho (70.3%), mascarilla y gafas (18% c/u). Además, expresaron que al aplicar el plaguicida preferían hacerlo en horas de la mañana o en la tarde, por las bajas temperaturas, evitando así la volatilización del producto. Finalizada la fumigación, el 94.6% de la muestra encuestada lava sus manos con agua y jabón, el producto sobrante es almacenado en sitios bajo llave y fuera del alcance especialmente de

niños y animales en los terrenos de cultivos (56.8%) y viviendas (27%). Los envases vacíos son quemados (32.5%) o enterrados (25%).

Cabe mencionar que 7 de las personas han sufrido alguna contaminación por derramamiento o por daño del recipiente durante el transporte, 34 de ellas conocen sobre el significado de cambio climático y contemplan que el empleo de técnicas donde no se requiera el uso de químicos como el control biológico pueden contribuir con la reducción del mismo, de hecho un cultivador trabaja únicamente con microorganismos y productos orgánicos. Al mismo tiempo 33 relacionan que sus actividades de agricultura son afectadas por este fenómeno y también consideran que mediante capacitaciones sobre el uso y manejo de plaguicidas es posible tener mejores prácticas y reducir el impacto de su actividad económica, sin embargo solo 24 han tenido acceso a dicha experiencia.

7.2 Niveles de plaguicidas en los sedimentos del embalse El Guájaro, Atlántico

Los resultados de la evaluación de los niveles de plaguicidas organoclorados y organofosforados en los sedimentos del embalse el Guájaro, manifiestan el hallazgo de Clorpirifos en los dos puntos de muestreo evaluados en la CO (E5: 15.78ppb y E6: 13.08ppb) y Cipermetrina solo en tres puntos de la CD (E1: 20.98ppb, E2: 30.53ppb y E5: 46.89ppb). Existe una amplia tendencia a encontrar niveles altos en lugares intervenidos por el hombre con cultivos intensivos y la continua fumigación (Mongalo Ebanks et al., 2013). En el área se encuentra el Distrito de Riego de Repelón (Figura 13), el cual correspondería a la principal fuente aportadora de estos compuestos. Cabe resaltar que la presencia de estos contaminantes coincidió con el inicio de la siembra en la zona aledaña al embalse, puesto que este proceso lo realizan durante el periodo de lluvias (Tabla 14).

Tabla 14

Plaguicidas detectados en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico

Plaguicidas		Clorpirifos	Cipermetrina (ppb)
LDM		5.00	10.00
CO	E5	15.78	ND
	E6	13.08	ND
CD	E1	ND	20.98
	E2	ND	30.53
	E3	ND	ND
	E4	ND	ND
	E5	ND	46.89
	E6	ND	ND

Nota: Datos Ex situ. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017. ND: No detectado, LDM: Límite de Detección del Método, CO: Campaña de Octubre, CD: Campaña Diciembre

Los plaguicidas demoran un lapso de tiempo para llegar hasta los sedimentos de los sistemas hídricos, cuando éstos son liberados al medio por aplicaciones directas en los cultivos agrícolas, derrames accidentales, deposición inadecuada de contenedores y otros, interaccionan no solo con los componentes bióticos sino con los abióticos, lográndose transportar al aire por volatilización, permanecer en el suelo, vegetación u otras superficies y subsistir cerca del sitio de deposición por adherencia del compuesto, ser degradados por la acción microbiana y/o moverse con el suelo erosionado por escorrentía o vientos, ser disuelto en el agua y ser absorbidos por las plantas, trasladarse por precipitaciones, araste de aguas o lixiviar llegando hasta corrientes superficiales y subterráneas (Niño Barrero & Pio de la Hoz Restrepo, 2010; Tiryaki, Temur, & Akıbeti, 2010). De éste modo sufren transformaciones en su estructura y concentración a medida que se trasladan en el ecosistema, estas rutas del desplazamiento en el ambiente están estrechamente definidas por factores como las propiedades físicas y químicas del plaguicida, el clima, las condiciones geomorfológicas, hidrogeológicas y meteorológicas de la zona (Del Puerto Rodríguez, Suárez Tamayo, & Palacio Estrada, 2014).

Lo anterior sustenta las razones por las cuales no fue posible la detección de más compuestos y en grandes proporciones: en primera instancia el traslado del plaguicida a la atmosfera después de su aplicación es la volatilización, que se refiere al cambio de estado gaseoso del plaguicida y se favorece de las temperaturas cálidas que se manejan en el Departamento, cuyo ritmo depende de la presión de vapor, temperatura, la volatilidad intrínseca y la velocidad de difusión hacia la superficie de evaporación (González Millán, 2016).

En segunda medida, está el fenómeno de lixiviación en el suelo que a su vez va estrechamente relacionado con las propiedades químicas del plaguicida, las propiedades fisicoquímicas del suelo y dinámica del agua, dado que, los compuestos aplicados al suelo tienden a desplazarse con el agua y lixivarse a través del perfil alcanzando las capas más profundas y acuíferos cercanos. El tipo de suelo donde se ha aplicado el plaguicida, influye sobre el equilibrio de adsorción, debido al papel de las arcillas, materia orgánica por ser coloides y tener altas cantidades de intercambio catiónico, contienen carga negativamente y al ser los plaguicidas catiónicos son retenidos (Salamanca Niño & Torres Chisino, 2009); pueden darse los procesos de desorción y absorción o penetración del compuesto en plantas, animales y microorganismos dejándolos disponibles para transporte y degradación (Esteve Turrillas, 2007).

Por su parte, los terrenos de cultivo del Distrito de Riego de Repelón presentan condiciones variadas según la intensidad agrícola y manejo adecuado de recuperación del suelo una vez se obtienen las cosechas, que de acuerdo con la CRA, (2014) es de carácter alto, incidiendo negativamente con prácticas de mecanización del suelo porque las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas a razón de la degradación en la

estructura del suelo, la disminución de la materia orgánica y sus nutrientes, en conjunto con la adición de agroquímicos y la carencia de tecnificación de la zona, se deteriora el ecosistema.

Por las inclemencias del clima y en específico del fenómeno del niño que ha golpeado ampliamente el Departamento del Atlántico, de manera forzosa detuvo ésta actividad económica, lo que consiguó provocó el “abandono” de las tierras hasta el reinicio del periodo de lluvias (Ruíz Cabarcas & Pabón Caicedo, 2013). Degradado el suelo por la agricultura y luego por la falta del recurso hídrico, permite pensar que pese a que el suelo es arcilloso según los agricultores encuestados, la adsorción en el suelo podría reducirse, aumentando que el plaguicida se degrade por otros medios, es decir, por medio de la descomposición química, cuya degradación parcial o total, da lugar a compuestos de toxicidad menor (inactivación o detoxificación) incluso a compuestos inorgánicos por ejemplo el agua, dióxido de carbono, haluros, fosfatos y amonio. Pese a esto, en las zonas donde se hallaron plaguicidas pudo ocurrir lo contrario, es decir, la transformación de productos de mayor toxicidad que la sustancia original (activación), otros viables rutas son la descomposición fotoquímica, que es producida por la luz solar (Cabildo Miranda et al., 2013) y la degradación mediada por la dinámica microbiana, que probablemente sea el mayor receptor de los plaguicidas en el medio porque estos compuestos químicos constituyen una adecuada fuente de carbono y son donadores de electrones para ciertos microorganismos del suelo (Torres Rodríguez, 2003).

En tercera instancia se incluyen los procesos desplegados al ingresar los fitosanitarios al embalse una vez es arrastrado por escorrentías, son adsorbidos por la gran carga de sólidos en suspensión del cuerpo de agua hasta alcanzar la masa suficiente que favorezca su

sedimentación, e igualmente la difusión dado que regularmente las sustancias pueden moverse zonas de mayor a menor concentración por ello es posible que a lo largo del área de estudio se dé la presencia específica de esos compuestos. No obstante, la degradación de un plaguicida en los campos de cultivo no se rige por un solo fenómeno, sino por la acción simultánea, más las interacciones con la amplia gama de agentes degradantes cuya cinética varía con la estructura molecular y concentración del agrotóxico (Doan Ngoc, Van den Berg, Houbraken, & Spanoghe, 2015; González Millán, 2016). De acuerdo con las encuestas los plaguicidas más empleados en las actividades de cultivo son de tipo organofosforado y este es mucho menos resistente que los POC que son altamente sustitutivos, debido a eso sus tiempos de vida media son cortos y hace más rigurosa su detección. También interviene la accesibilidad en que se encuentre el producto de su degradador, porque al estar unido a la materia orgánica presente en los sedimentos no ésta de forma accesible a los microorganismos externos sino a la comunidad ya existente en ésta matriz, pero esta podría ser rica en microorganismos o los sistemas enzimáticos degradadores facilitando los procesos de descomposición. El nivel de actividad microbiana también es otro aspecto a tener en cuenta pues está en función de las condiciones ambientales tales como el pH, temperatura, aireación, etc., y con los datos *in situ* de calidad de agua tomados durante las campañas podría decirse que las condiciones son favorables porque se maneja en promedio un pH de 8.29, una temperatura de 30.75°C y el oxígeno disuelto 2.62mg/L (Tabla 15).

Tabla 15

Parámetros de Calidad de Agua In situ

Parámetros		Batimetría (m)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	Salinidad (ppt)	Conductividad (uS/cm)
CO	E5	2.47	32.42	7.98	7.98	0.11	0.247
	E6	2.25	33.6	7.64	7.64	0.08	0.172
CD	E1	4.00	30.01	8.88	4.12	0.55	1.117
	E2	4.00	29.79	8.69	2.74	0.52	1.063
	E3	3.54	29.92	8.89	4.83	0.51	1.063
	E4	2.49	30.03	8.15	1.76	0.17	0.353
	E5	3.82	30.34	8.26	2.86	0.14	0.305
	E6	3.65	29.86	7.83	2.58	0.13	0.278

Nota: Datos In situ. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

Por último, se razona sobre la probabilidad que existan concentraciones inferiores al límite de detección del método, pues una vez ocurren de manera interrelacionada todos los procesos contemplados anteriormente gran parte de plaguicidas aplicados en el distrito de Riego de Repelón ya han sido degradados y sus concentraciones disminuyen conforme transcurre el tiempo y el transporte. Las concentraciones halladas no pudieron ser contrastadas con límites permisibles de las guías de calidad ambiental Canadiense (por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines-CEQG) como referente internacional que ofrece unos valores máximos para POC y POF porque no contempla los compuestos encontrados y a nivel nacional no reporta ninguna legislación.

7.3 Niveles de metales pesados en los sedimentos del embalse El Guájaro, Atlántico

Los metales pesados totales (Hg, Pb, Zn, Cr, Ni y Cd) en los sedimentos del embalse el Guájaro, durante las dos campañas de muestreo se detectaron en su totalidad. Los resultados correspondientes a la CD fueron representados a través de mapas de distribución espacial elaborados mediante un sistema de información geográfica para detectar las zonas de mayor o menor concentración atribuyéndoles sus posibles fuentes en concordancia con

el área de influencia de la zona de estudio. Cabe destacar que la CO se desarrolló como muestra de control en la cuantificación de metales pesados en la matriz analizada.

A continuación, la Tabla 16 muestra los resultados en los sedimentos del embalse el Guájaro y seguidamente se añaden los mapas, gráficas y análisis por metal detectado.

Tabla 16

Materia Orgánica, pH y Metales Pesados detectados en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico

Metales Pesados				Mercurio ³	Plomo	Zinc	Cromo	Níquel	Cadmio
		%MO	pH	(ppm)					
LDM				1.0	0.007	5.0	3.0	5.0	0.001
CO	E5	0.3	7.1	106.38	11.72	111.28	75.51	42.48	4.11
	E6	0.7	7.1	90.82	8.80	92.56	64.78	37.14	3.81
CD	E1	0.3	7.3	18.41	7.32	135.37	62.11	40.85	1.68
	E2	0.9	7.4	61.99	7.65	122.37	55.21	38.96	1.21
	E3	0.8	7.6	56.55	3.75	96.26	ND	30.92	0.59
	E4	1	7.6	58.25	9.55	116.90	46.27	40.83	1.87
	E5	1	7.6	108.68	13.86	119.16	81.85	58.28	1.94
	E6	0.1	7.8	102.20	18.07	137.39	73.33	48.81	5.63
	NOAA ¹			51	17	38	13	9,9	0.3
CEQC ²	ISQG			174	35	123	37.3	18	0.596
	PEL			486	91.3	315	90	36	3.5

Nota: Datos Ex situ. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.%MO: Porcentaje de materia orgánica. ND: No detectado LDM: Límite de Detección del Método ¹Limites permisibles propuestos por la NOAA; ²Limites permisibles propuestos por la Canadian Council of Ministers of the Environment en Sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. (Australian and New Zealand And Conservation Environment Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, 2000; Buchman, 1999); ³Resultados en ppb.

Los niveles de metales pesados en los sistemas continentales como los embalses incrementan conforme avanzan las actividades de desarrollo e industrialización del área de influencia (Dhivert, Grosbois, Courtin Nomade, Bourrain, & Desmet, 2016); su presencia en sedimentos se asocian a procesos de origen natural y por la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales (Saleem, Iqbal, & Shah, 2015). En la zona de estudio los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados en agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (minería) y domésticos.

Las actividades agrícolas tradicionales que se desarrollan en el Distrito de Riego de Repelón que se encuentran cercanas a E5 y E6 (Figura 13), suponen la adicción directa durante largos periodos de tiempo de varios metales pesados asociados al empleo de fertilizantes, abonos y productos químicos que incluyen fungicidas, pesticidas y herbicidas (G. Wu, Wu, & Shao, 2012), cuyo contenido varía dependiendo del origen y producción (Sobrero, Ronco, & Beltrano, 2010). Mahecha Pulido et al., (2015) identificó que algunos metales pesados están directamente relacionados con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Pb, Zn), plaguicidas (Hg, Pb, Zn), compost y derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Zn). Así mismo, los fertilizantes fosforados que son los compuestos organosintéticos más usados en la zona de estudio contienen Cr, Ni, Hg, Pb, Zn y elevados niveles de Cd (Beltrán, E.; Pineda & Rodríguez, M, Gómez, 2015; Rojas Mayorquín, 2011).

Concretamente al norte del embalse (E1 y E2), en los municipios de Repelón y Luruaco se encuentran empresas encargadas de extraer materiales útiles para la construcción como arenas, piedra caliza, agregados para concretos, triturados, entre otros (Figura 14). Esta actividad es de alto riesgo, no solo por las inversiones que deben realizarse a largo plazo, sino por las consecuencias ambientales que trae consigo la extracción de gran cantidad de materiales estériles (Tovar Garzón & Tobón Quintero, 2013). Su relación como fuente de metales pesados existe porque, pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones (Galán Huertos & Romero Baena, 2008; Rastegari Mehr et al., 2017), y al efectuar trabajos de minería, éste tipo de compuestos se liberan al medio como escoria, material particulado o lodos en las fases de extracción y tratamiento a los que son

sometidos, junto con los reactivos empleados en los procesos específicos (Romero, 2007). Conjuntamente, Alloway, (2013) expresó que los sedimentos derivados de formaciones compuestas de calizas se enriquecen regularmente en varios metales pesados.

Otra fuente importante de metales en los sedimentos corresponde a la eliminación inadecuada de residuos urbanos alrededor del embalse en siete botaderos a cielo abierto (Carrillo Sarmiento, 2012). Una vez se da disposición final de residuos, se inician procesos de transformación aerobios y anaerobios, la acidogénesis por ejemplo, es una etapa donde se produce ácido acético y dióxido de carbono de compuestos molecularmente complejos (lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos) que han sido hidrolizados, lo que provoca una reducción del pH, facilitando la disponibilidad de los metales pesados (Jiménez Martín, Chamorro Camazón, & Hernández Gómez, 2016).

Igualmente Sánchez Pinzon, (2010) plantea que la percolación por acción de aguas lluvias, la humedad propia de residuos producto de la actividad bacteriana y la presión ejercida por las capas superiores del depósito da lugar a la generación de lixiviados ricos en materia orgánica disuelta, macrocomponentes inorgánicos, metales pesados: Cd, Cr, Pb, Ni y Zn como de compuestos xenobióticos: alifáticos clorados y pesticidas, que el agua solubiliza, arrastra y permite migrar hasta los sedimentos del embalse dando respuesta a las concentraciones halladas en las campañas de muestreo (Torres Lozada, Barba Ho, Ojeda, Martínez, & Castaño, 2014).

Por último, se añaden los efluentes no tratados procedentes de industrias y urbes que utilizan los cauces fluviales como vertederos, los procesos de depuración insuficientes, la mala disposición de los lodos provenientes de distintas plantas de tratamiento que podrían

también atribuir metales pesados (Ali, Ali, Islam, & Rahman, 2016). Éstas situaciones también se presentan en el embalse dado que, los municipios en mención cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas tipo laguna de oxidación cuyas aguas tratadas son conducidas por tubería cerrada hacia el embalse del Guájaro (Figura 4), pero por ejemplo Repelón no cuenta con plan de saneamiento y manejo de vertimiento aprobado por la CRA, por no contar con la información mínima requerida, otros como Sabanalarga adelantan las obras de mantenimiento y optimización del sistema, con el fin de lograr los niveles de remoción exigidos por la normatividad ambiental y fijados en los acuerdos de metas (Alberto Escolar Vega, 2014).

7.3.1 Niveles de mercurio.

Con el 100% de aparición de las muestras analizadas, los niveles variaron desde concentraciones de 90.82ppb a 106.38pb en las estaciones E6 y E5 respectivamente en CO a valores de 18.41ppb para estación E1 y 108.68ppb en la E5 para CD (Figura 18). Aunque se presentaron concentraciones bajas no fue suficiente para cumplir los límites exigidos por la NOAA pero si para la CEQC durante ambas campañas (Figura 19).

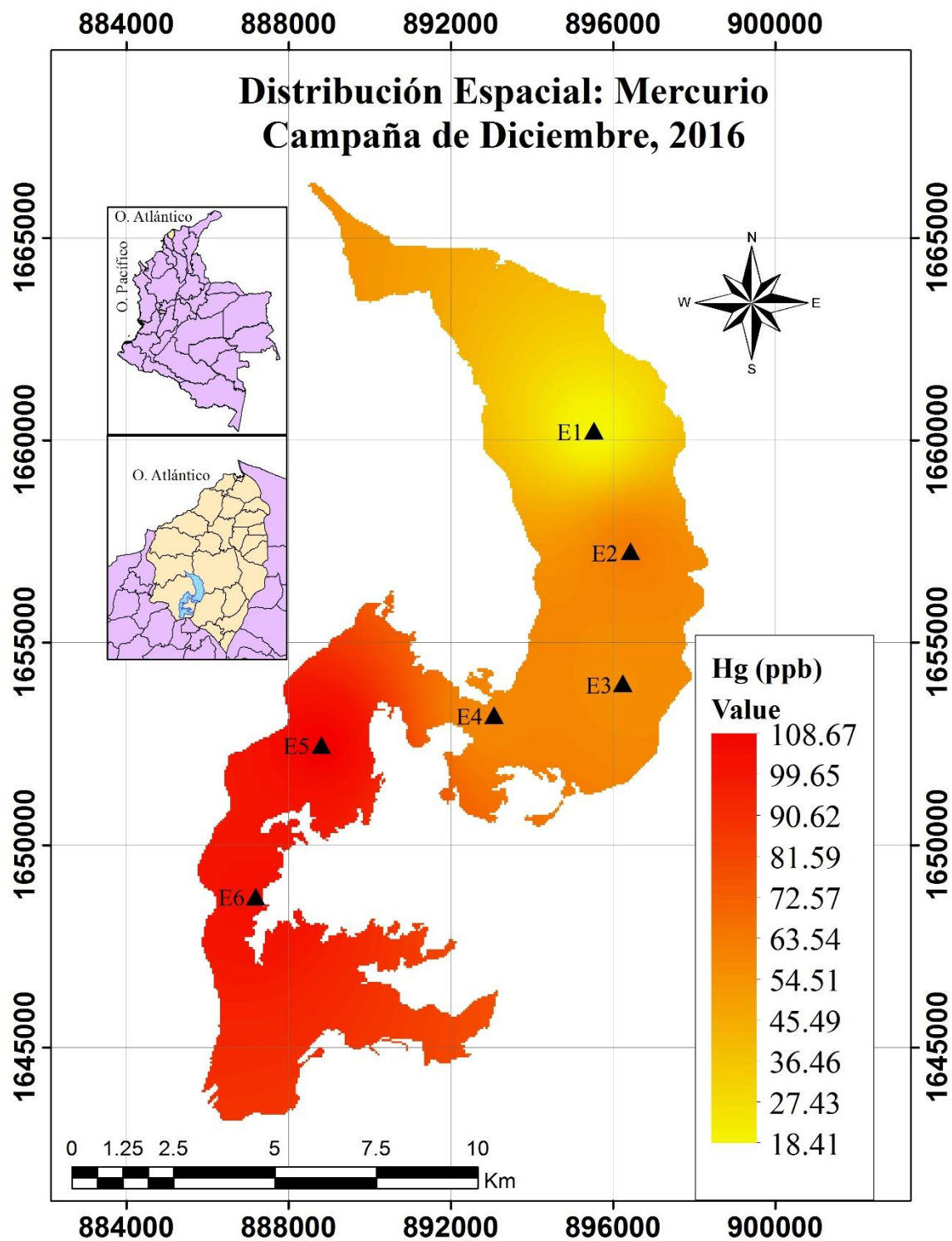


Figura 18. Niveles de Hg en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

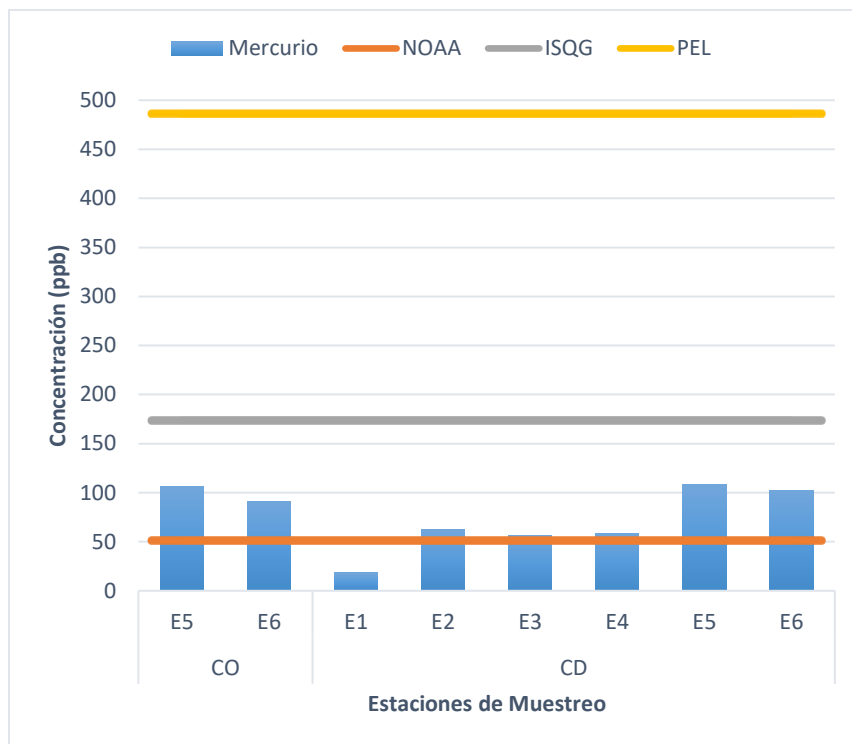


Figura 19. Niveles de Hg en los sedimentos del embalse el Guájaró, Atlántico Vs Valores de Referencia según la NOAA e CEQC. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.3.2 Niveles de plomo.

En las campañas se presentaron valores cuantificables de Pb todas las estaciones lo que recae en un 100% de detección del elemento, la concentración mínima encontrada correspondió a 8.8ppm en la E6 y máxima de 11.72ppm para E5. Durante la CD, fluctuaron de 3.75ppm en E3 a 18.07ppm en E6 lo que indica un aumento en las concentraciones del plomo (Figura 20), incumpliendo con los límites permisibles de la NOAA únicamente en la E6 durante ésta última campaña (Figura 21).

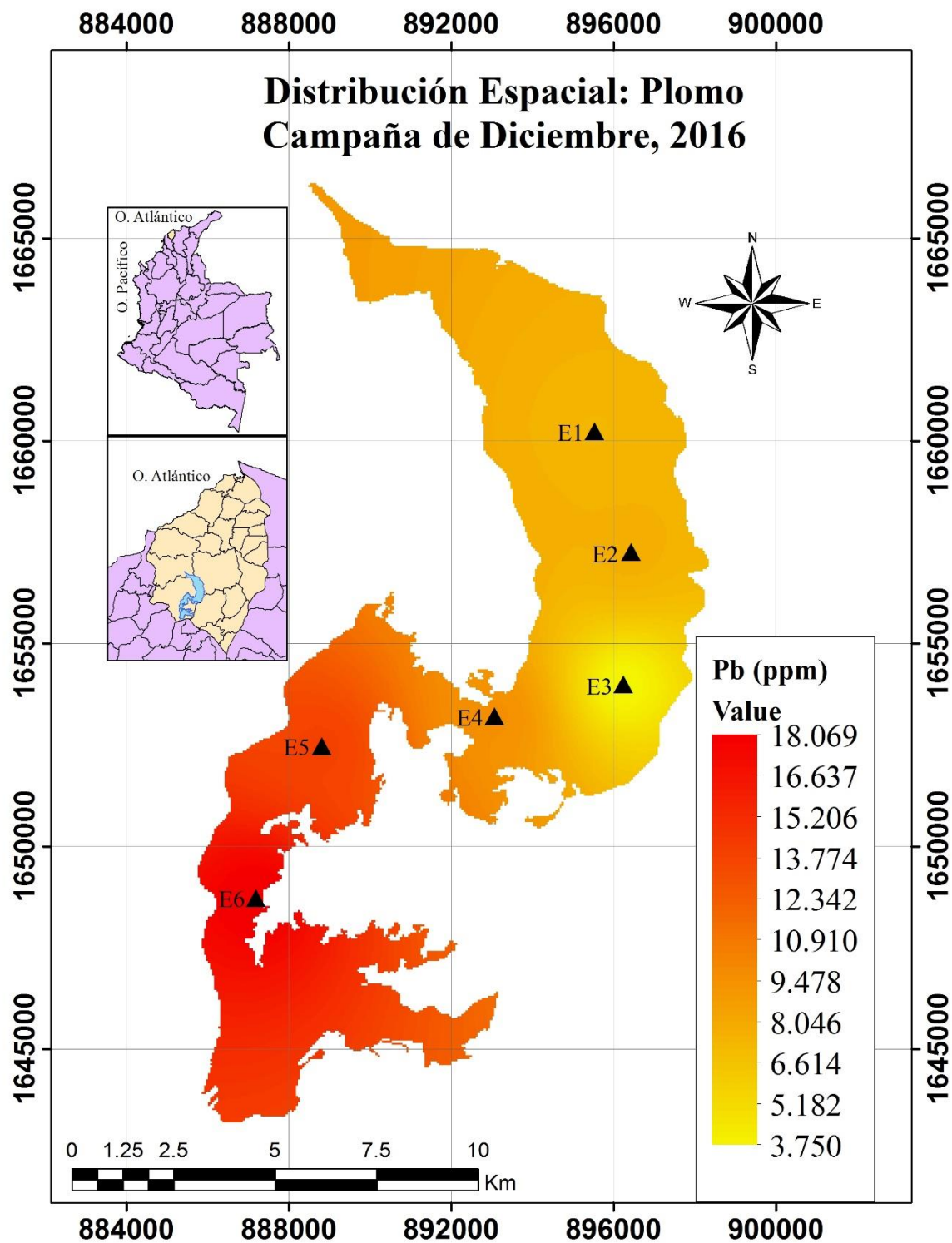


Figura 20. Niveles de Pb en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M.

& Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

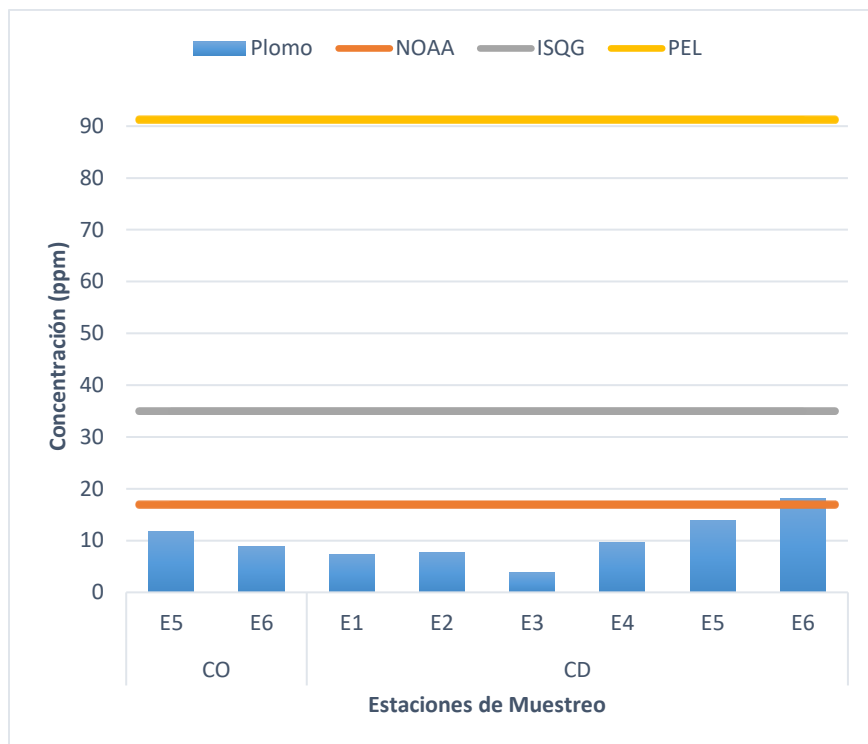


Figura 21. Niveles de Pb en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico Vs Valores de referencia según la NOAA e CEQC. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.3.3 Niveles de zinc.

Los valores de Zn total se presentaron en el 100% de las muestras examinadas, los valores revelan variaciones de 96.26ppm a 137.39ppm en las estaciones E3 y E6 respectivamente, es decir, las concentraciones más bajas están en la parte central del embalse como se contempla en la Figura 22. No hay cumplimiento con los niveles propuestos por la NOAA en ninguna de las campañas y en el muestreo de diciembre se rebasó la ISQG en la E1 y E6 (Figura 23). No hay cumplimiento con los niveles propuestos por la NOAA en ninguna de las campañas y en el muestreo de diciembre se rebasó la ISQG en la E1 y E6.

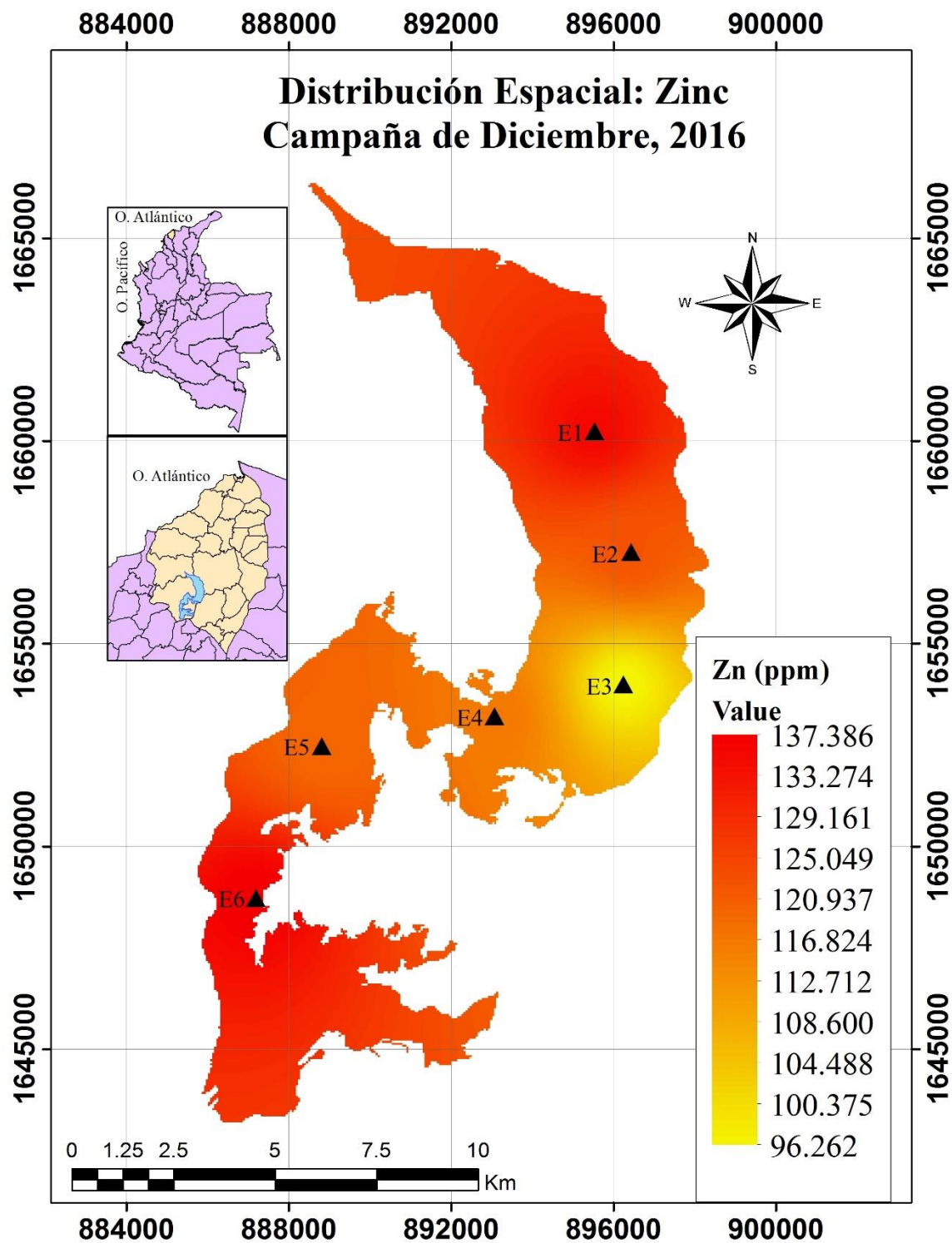


Figura 22. Niveles de Zn en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

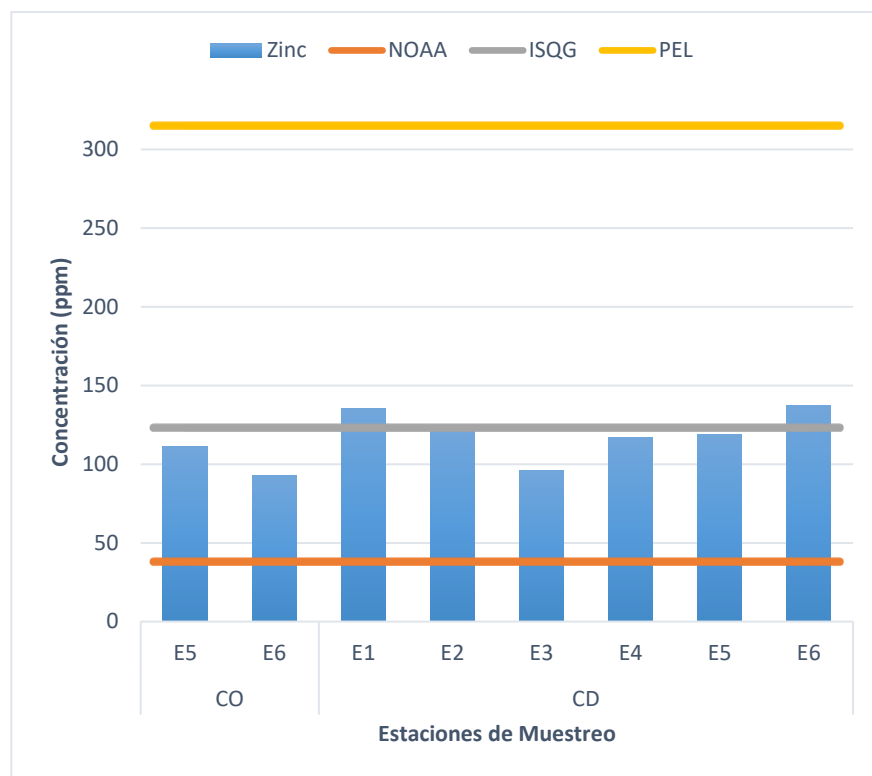


Figura 23. Niveles de Zn en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico Vs Valores de referencia según la NOAA e CEQC Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.3.4 Niveles de cromo.

El metal Cr total fue hallado en 7 muestras que equivalen al 87.5%, presentaron un ligero incremento en las estaciones E5 y E6 de las campañas CO en comparación con CD, las concentraciones variaron desde 46.27ppm a 81.85ppm para las estaciones E4 y E5 respectivamente (Figura 24), mostrando que a nivel general el embalse presenta elevadas concentraciones de éste elemento excediendo los niveles establecidos en el PEL y la NOAA (Figura 25) mostrando que a nivel general el embalse presenta elevadas concentraciones de éste elemento excediendo los niveles establecidos en el PEL y la NOAA.

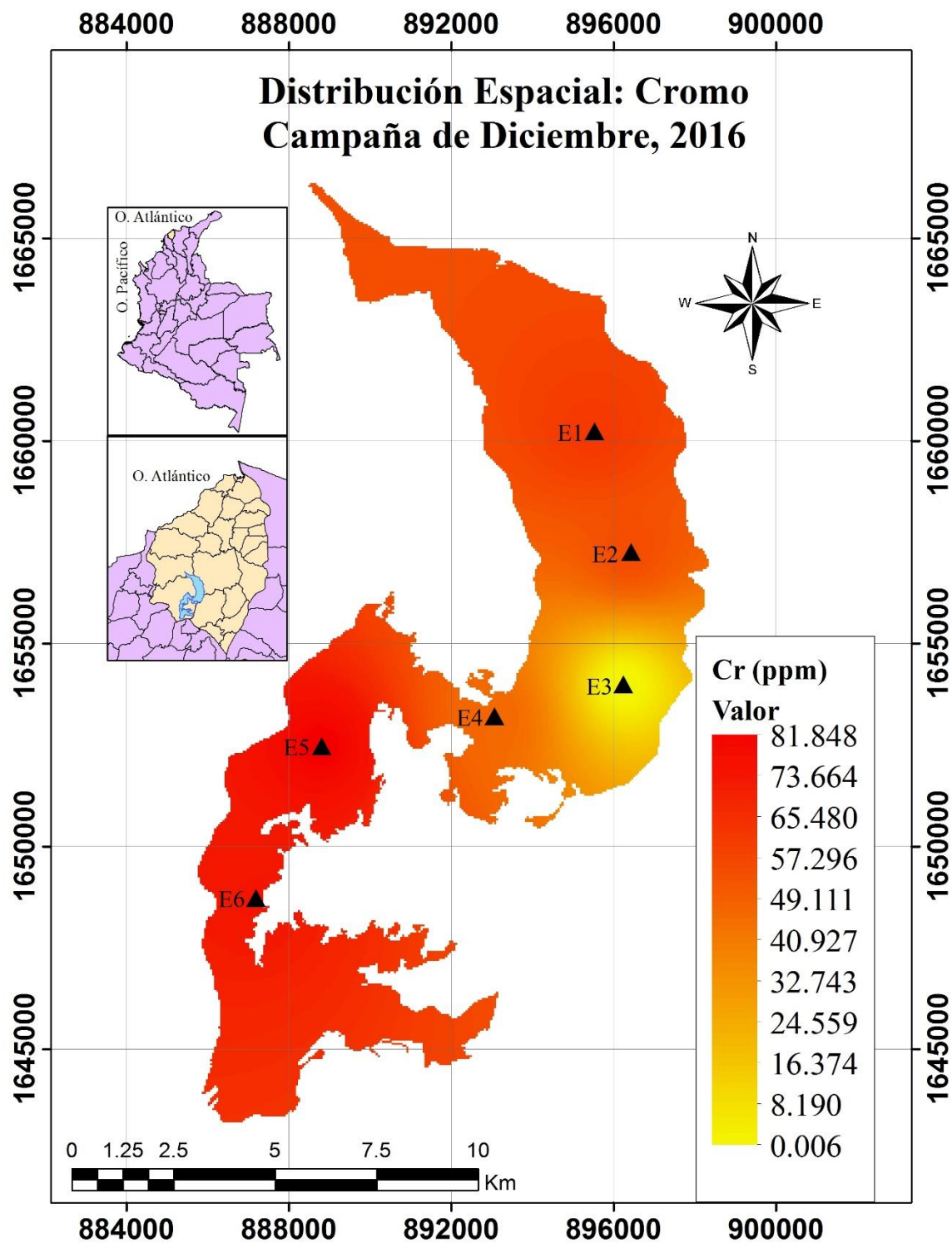


Figura 24. Niveles de Cr en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M.

& Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

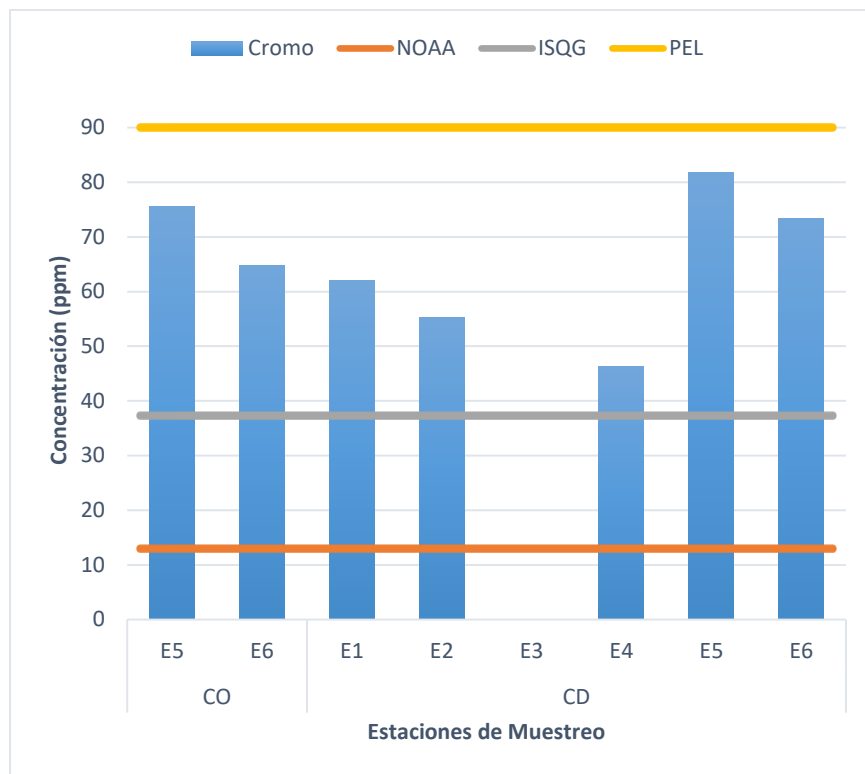


Figura 25. Niveles de Cr en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico Vs Valores de Referencia según la NOAA e CEQC Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.3.5 Niveles de níquel.

El Níquel se encontró en el 100% de las muestras expuestas a procedimientos de laboratorio, se hallaron concentraciones que sobrepasaron los rangos que establecen la NOAA, ISQG y el PEL, exceptuando la parte central del embalse, puntualmente en la estación E3 estuvo la menor concentración de éste elemento con un valor igual a 30.92ppm, dato que no excedió el PEL. En parte inferior se halló la máxima concentración igual a 58.28ppm en E5 (Figura 26 y Figura 27).

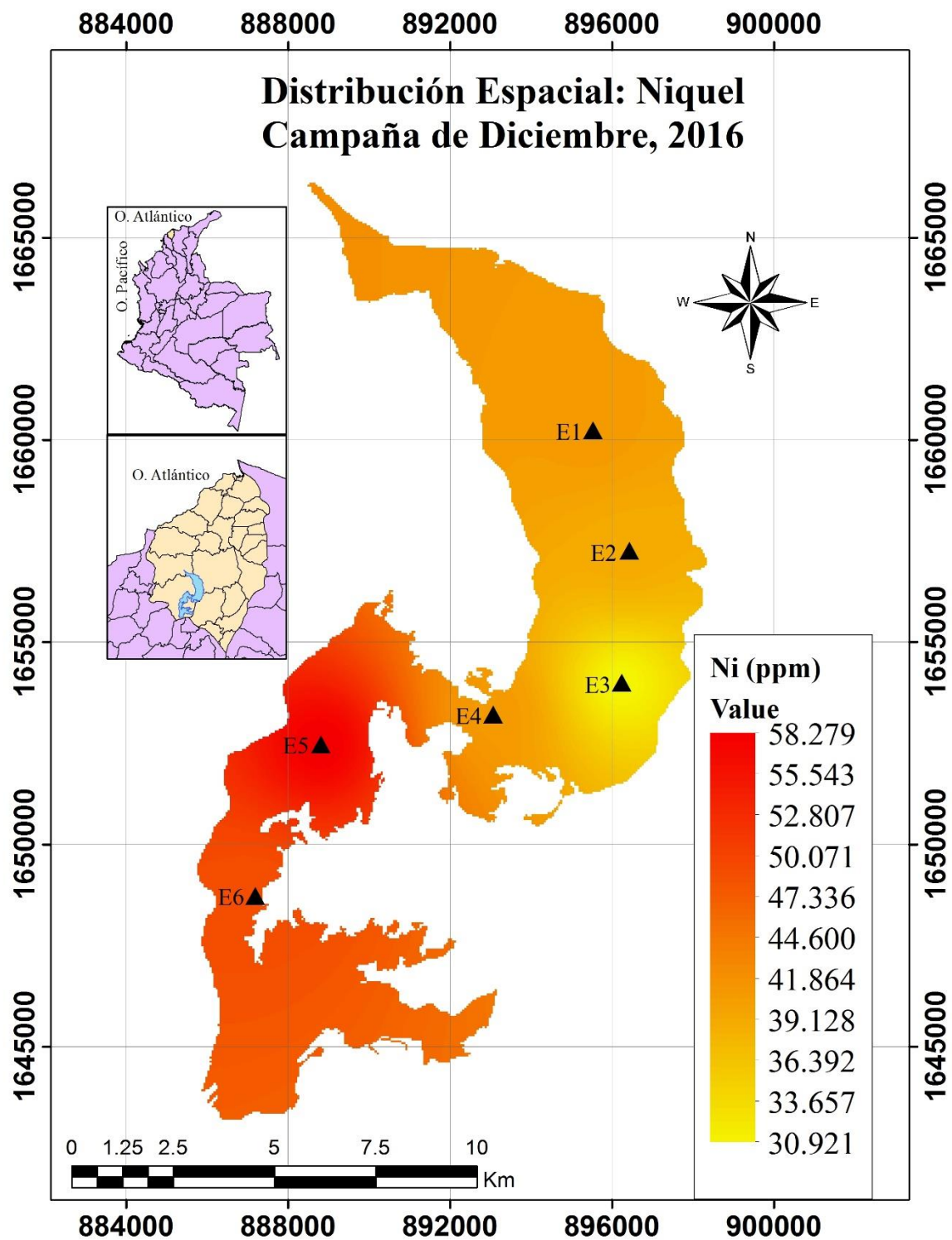


Figura 26. Niveles de Ni en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

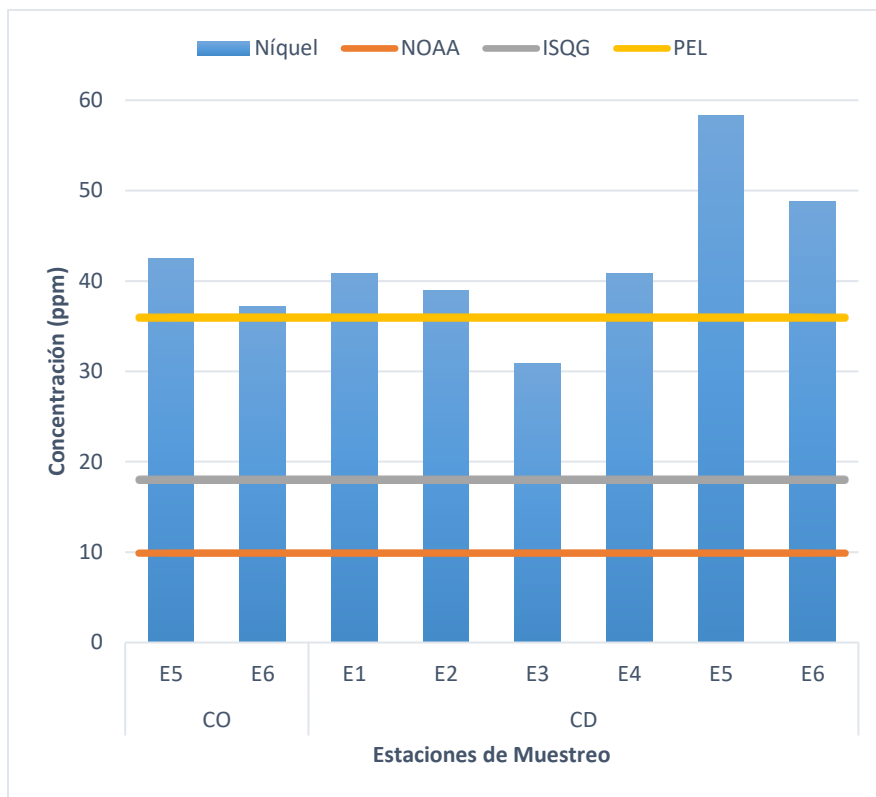


Figura 27. Niveles de Ni en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico Vs Valores de Referencia según la NOAA e CEQC. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

7.3.6 Niveles de cadmio.

El cadmio fue encontrado en todas las estaciones evaluadas en las campañas CO y CD, se logró detectar en el 100% de las mismas. Los resultados obtenidos arrojaron que éste metal también sobrepasa los límites permisibles por la NOAA, al ISQG (a excepción de la E3), del PEL en la CO y únicamente en la E6 de la CD. La concentración mínima obedece a la estación E3 obedeció a un valor de 0.59ppm mientras que la mayor a 5.63ppm en la E6 (Figura 28 y Figura 29).

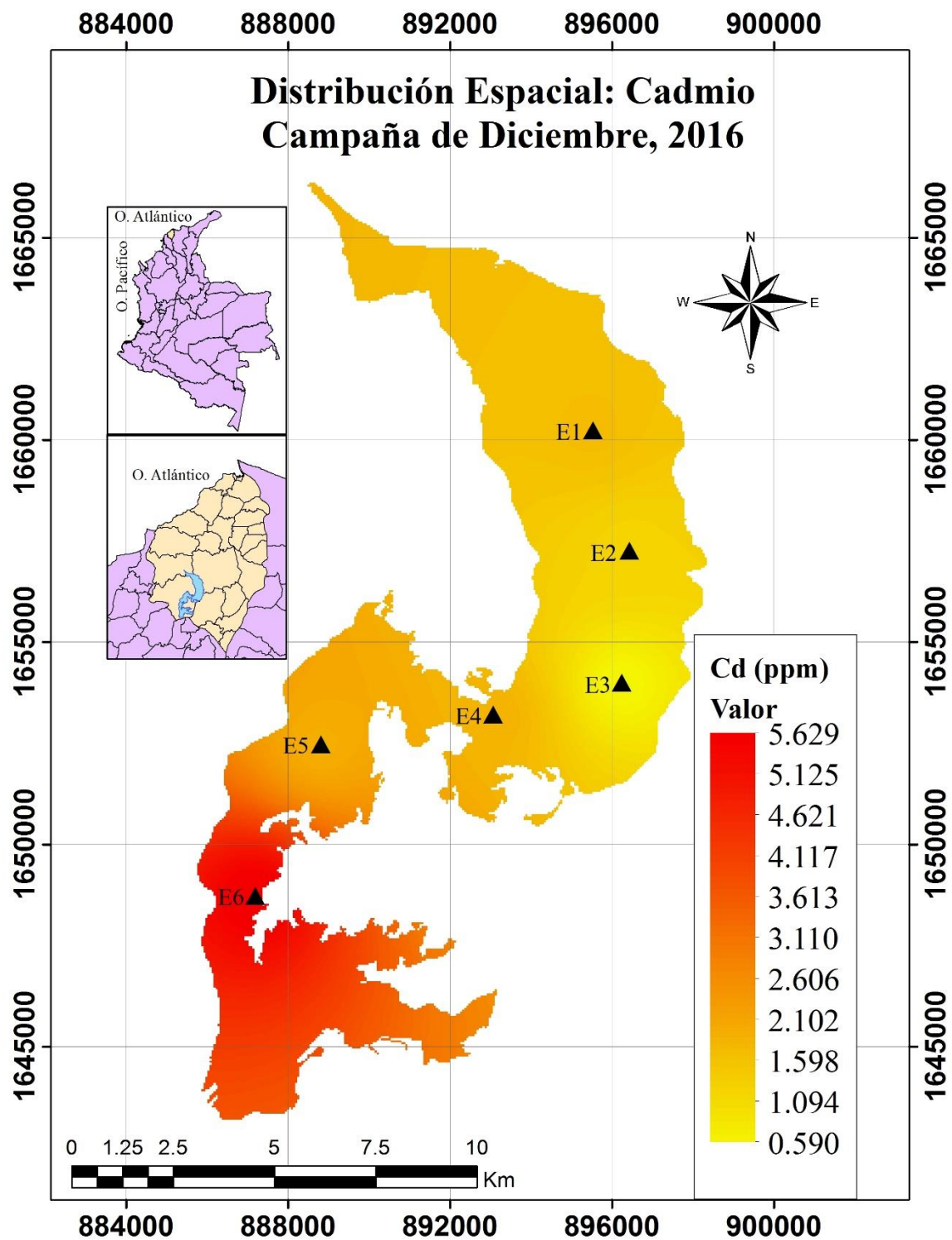


Figura 28. Niveles de Cd en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferrero Ruiz, K, 2017.

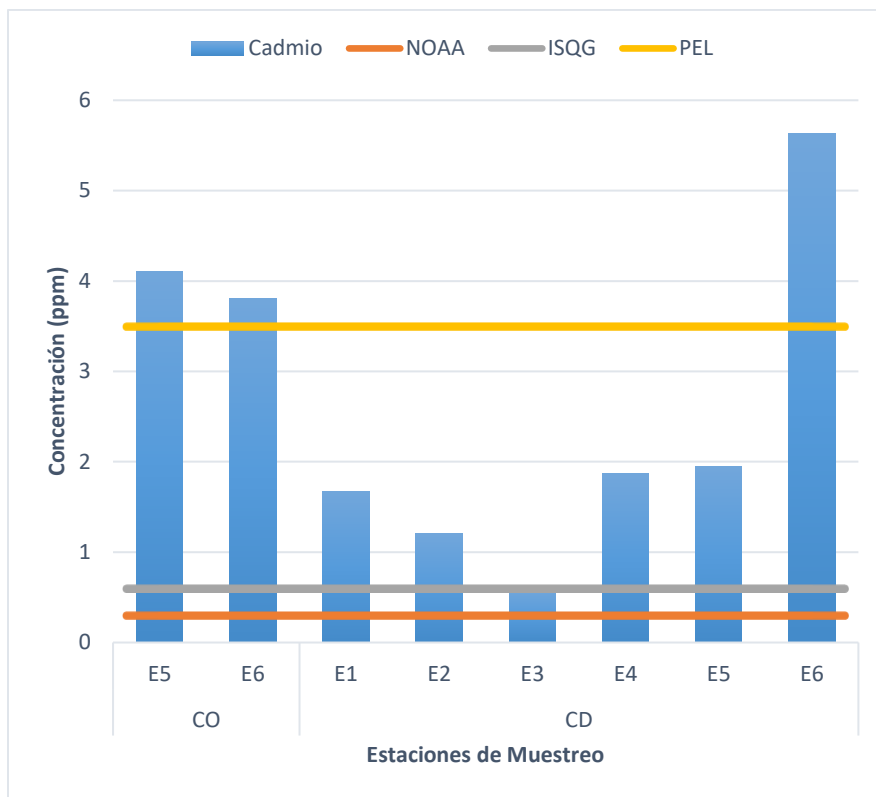


Figura 29. Niveles de Cd en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico Vs Valores de Referencia según la NOAA e CEQC. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.4 Índices de Metales Pesados en los sedimentos del Embalse el Guájar, Atlántico

Para efectuar los cálculos de los índices, se emplearon como background o concentración natural de un elemento con poca o mínima intervención antropogénica, los límites permisibles propuestos por la NOA (Tabla 16). Los resultados obtenidos se registran en la Tabla 17.

Tabla 17

Índices de metales pesados en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico

Estación		FC						ICC	GC	IGEO					
		Hg	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd			Hg	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd
CO	E5	2.09	0.69	2.93	5.81	4.29	13.70	3.36	29.50	0.48	-1.12	0.97	1.95	1.52	3.19
	E6	1.78	0.52	<u>2.44</u>	4.98	3.75	12.70	2.85	26.17	0.25	-1.53	<u>0.70</u>	1.73	1.32	3.08
CD	E1	<u>0.36</u>	0.43	3.56	4.78	4.13	5.59	1.98	18.85	<u>-2.05</u>	-1.80	1.25	1.67	1.46	1.09
	E2	1.22	0.45	3.22	4.25	3.94	4.04	2.22	17.11	-0.30	-1.74	1.10	1.50	1.39	1.43
	E3	1.11	<u>0.22</u>	2.53	NC	<u>3.12</u>	<u>1.97</u>	<u>1.31</u>	<u>8.96</u>	-0.44	<u>-2.76</u>	0.76	NC	<u>1.06</u>	<u>0.39</u>
	E4	1.14	0.56	3.08	<u>3.56</u>	4.12	6.22	2.38	18.69	-0.39	-1.42	1.04	<u>1.25</u>	1.46	2.05
	E5	2.13	0.82	3.14	6.30	5.89	6.48	3.31	24.75	0.51	-0.88	1.06	2.07	1.97	2.11
	E6	2.00	1.06	3.62	5.64	4.93	18.76	3.99	36.01	0.42	-0.50	1.27	1.91	1.72	3.64
Promedio		1.48	0.59	3.06	5.04	4.27	8.68	2.67	22.50	-0.19	-1.47	1.02	1.73	1.49	2.23

Nota: Resultados de Índices. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017. NC: No calculado. Los resultados en negrilla obedecen a los máximos y los subrayados a los mínimos. FC: Factor de Contaminación. GC: Grado de Contaminación. ICC: Índice de Carga de Contaminantes. IGEO: Índice de Geoacumulación

7.4.1 Factor de contaminación (FC).

Los resultados de Factor de Contaminación de metales pesados en los sedimentos del embalse el Guájaro organizados en orden descendente corresponde a Cd> Cr> Ni>Zn> Hg>Pb, indicando que el cadmio fue más abundante en comparación con los otros metales, mientras que el plomo tenía la apariencia más baja.

Específicamente, el FC del Pb en promedio fue de 0.59 que muestra la existencia de un enriquecimiento bajo a excepción de la E6 de la CD con un valor de 1.06 que se considera moderado (Figura 30). El FC para el Hg arrojó moderado sin incluir a la E1 de la CD que resultó con un FC bajo (Figura 31). El FC del Zn osciló entre 2.44 y 3.62, lo cual representa un rango moderado a considerable (Figura 32). Los resultados del FC para el Ni fue considerable porque varió de 3.12-5.89 (Figura 33). El FC del Cr y Cd variaron de 3.56 a 6.30 y 1.97-18.76 comprendiendo rangos considerable-muy alto y de moderado a muy alto respectivamente (Figura 34 y Figura 35).

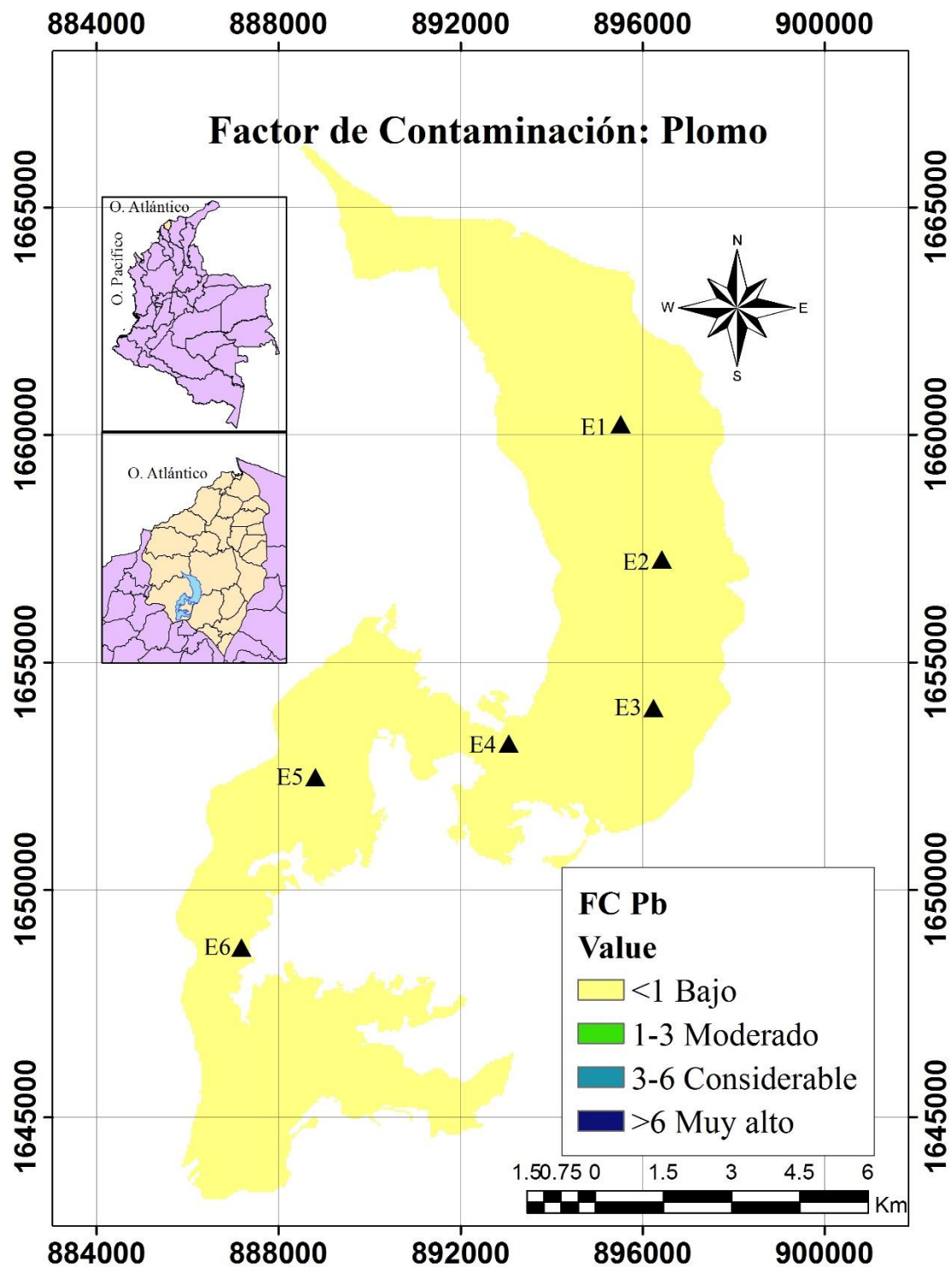


Figura 30. Factor de Contaminación del Pb en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

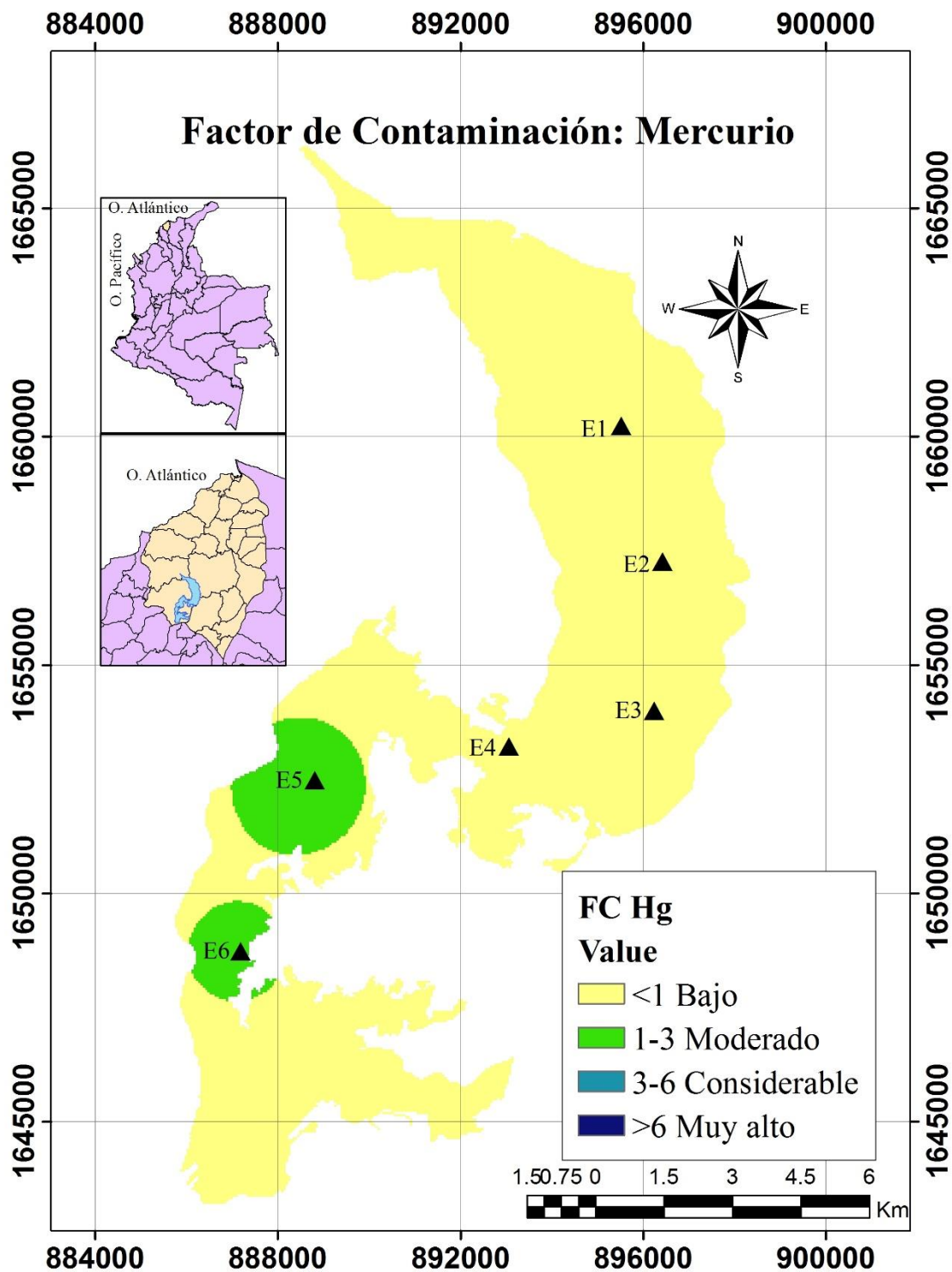


Figura 31. Factor de Contaminación del Hg en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

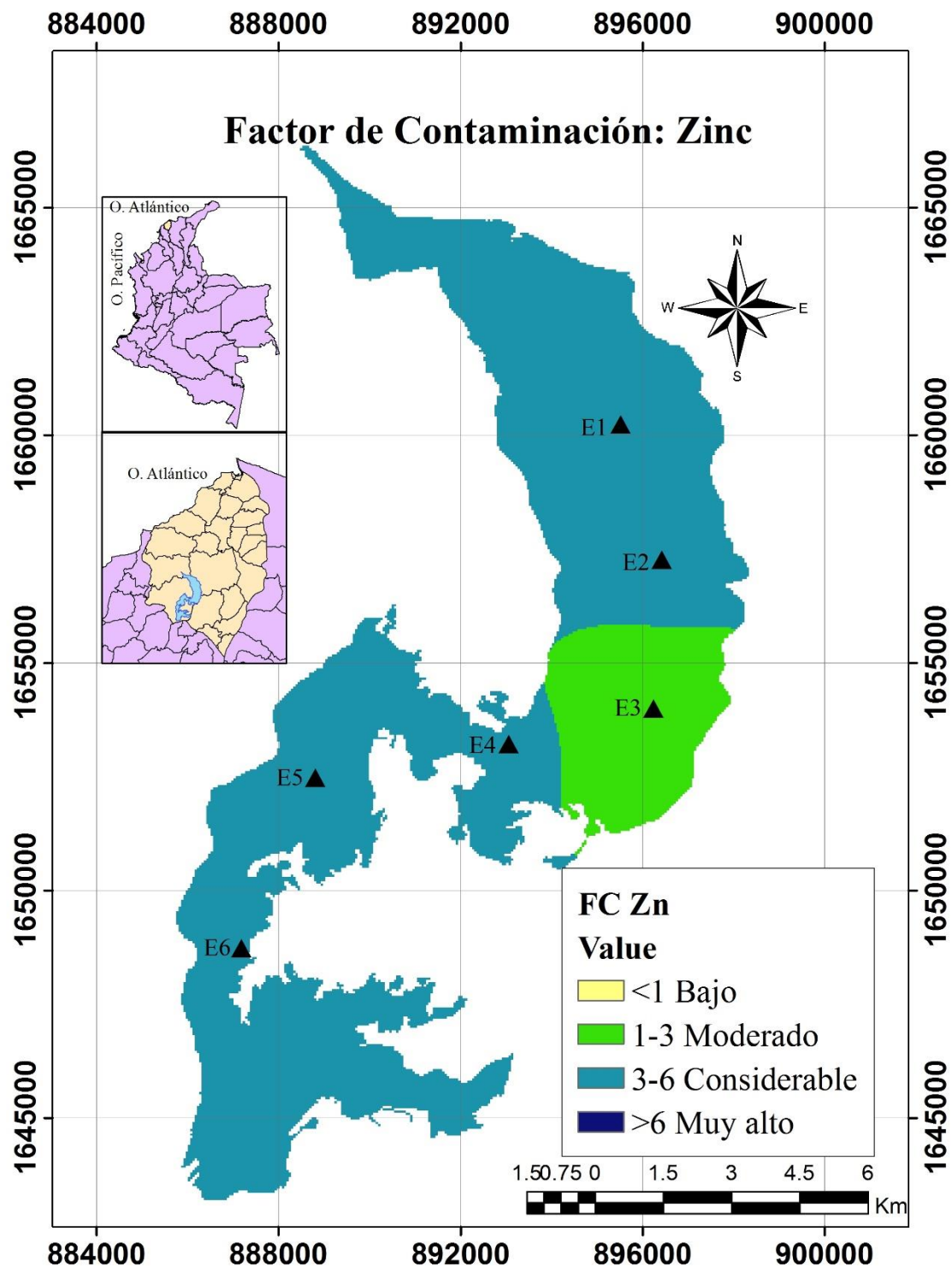


Figura 32. Factor de Contaminación del Zn en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

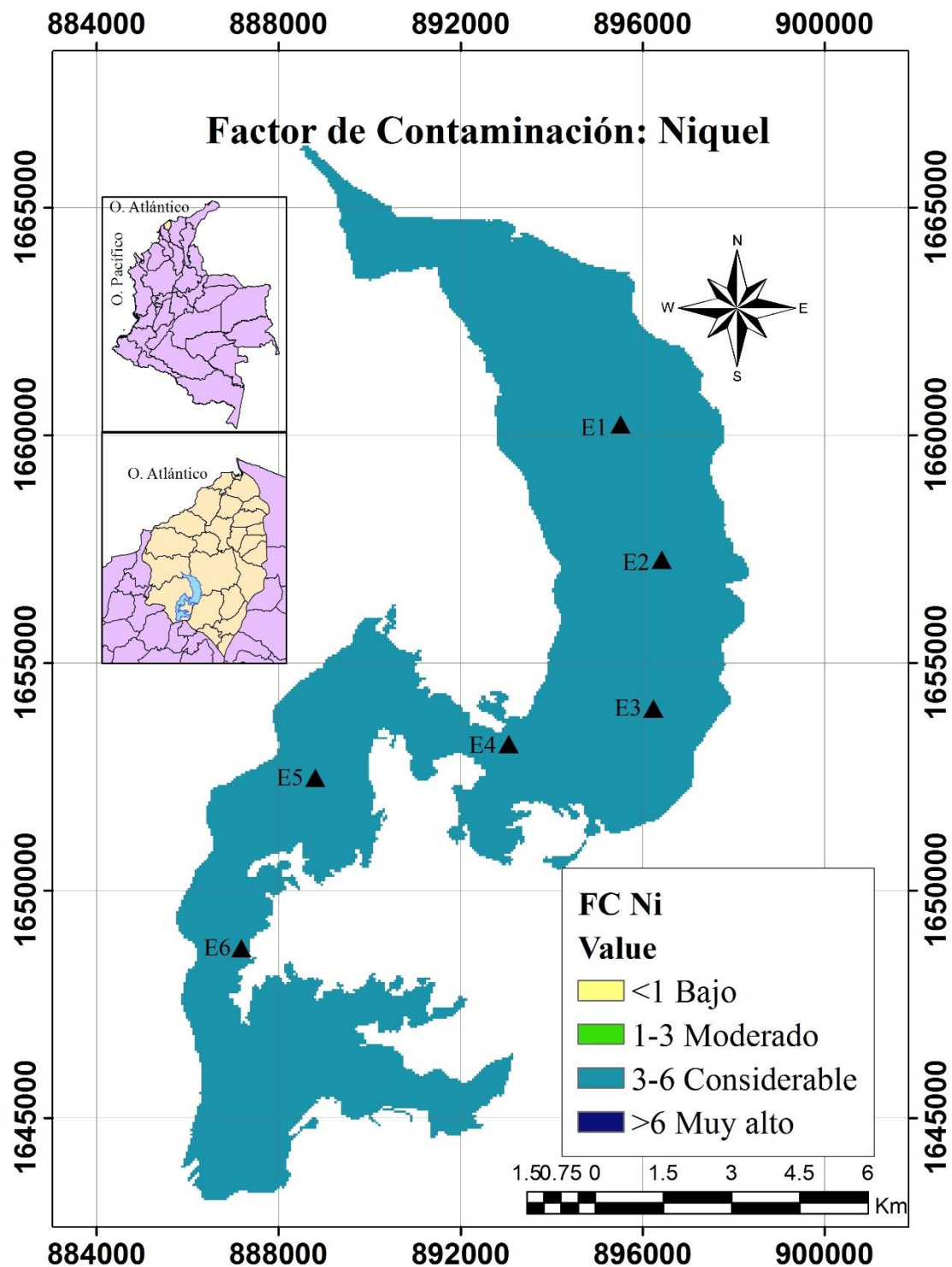


Figura 33. Factor de Contaminación del Ni en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD), Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

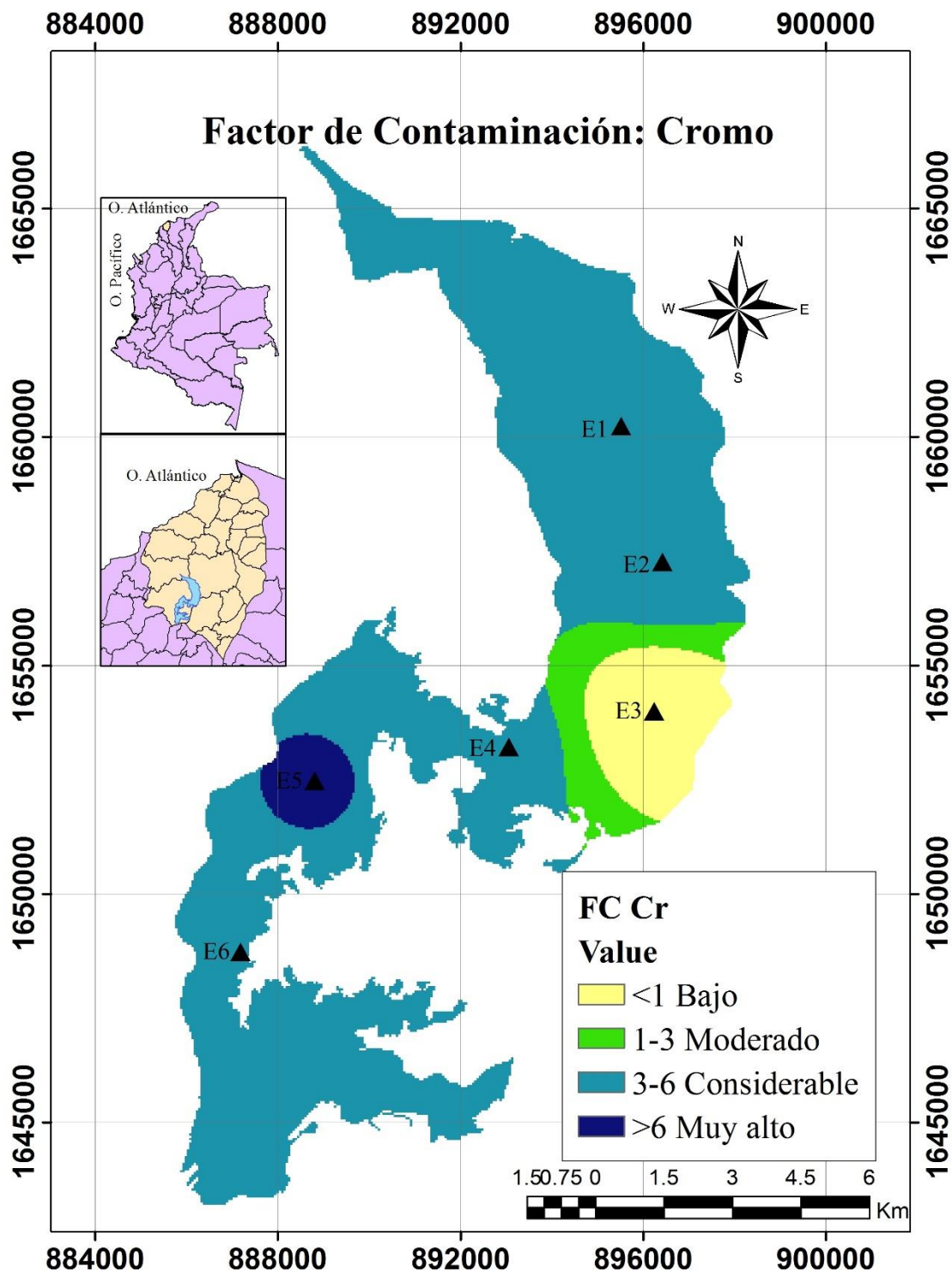


Figura 34. Factor de Contaminación del Cr en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

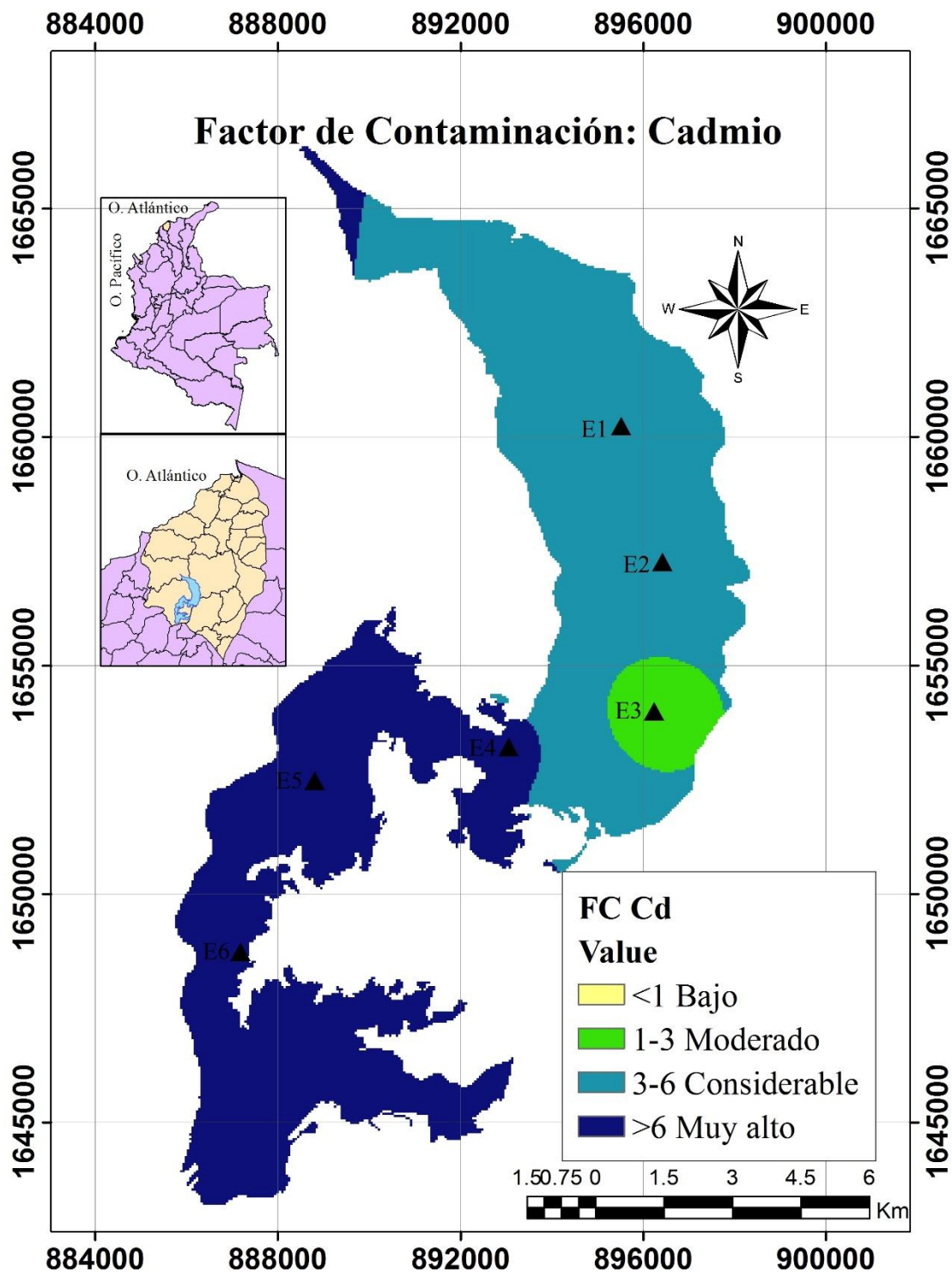


Figura 35. Factor de Contaminación del Cd en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.4.2 Índice de carga de contaminación (ICC).

De acuerdo con el Índice de Carga de Contaminación (Figura 36), las estaciones más afectadas en orden descendente corresponde a E6>E5>E4>E2>E1>E3 indicando que el sur del embalse es la zona de mayor concentración de metales en el sedimento. Los resultados variación desde 1.31 a 3.99, es decir, valores superiores a uno, categorizando el embalse como zona contaminada.

7.4.3 Grado de Contaminación (GC).

El Grado de Contaminación mostró que la E3 con un resultado de 8.96 fue de categoría moderada, en las E2, E4 y E1 con concentraciones de 17.11, 18.69 y 18.85 respectivamente, perteneciendo a un GC considerable y las E5 y E6 al GC muy alto con valores para la CO de 29.50 y 26.17, como en la CD de 24.75 y 36.01 en el mismo orden (Figura 37).

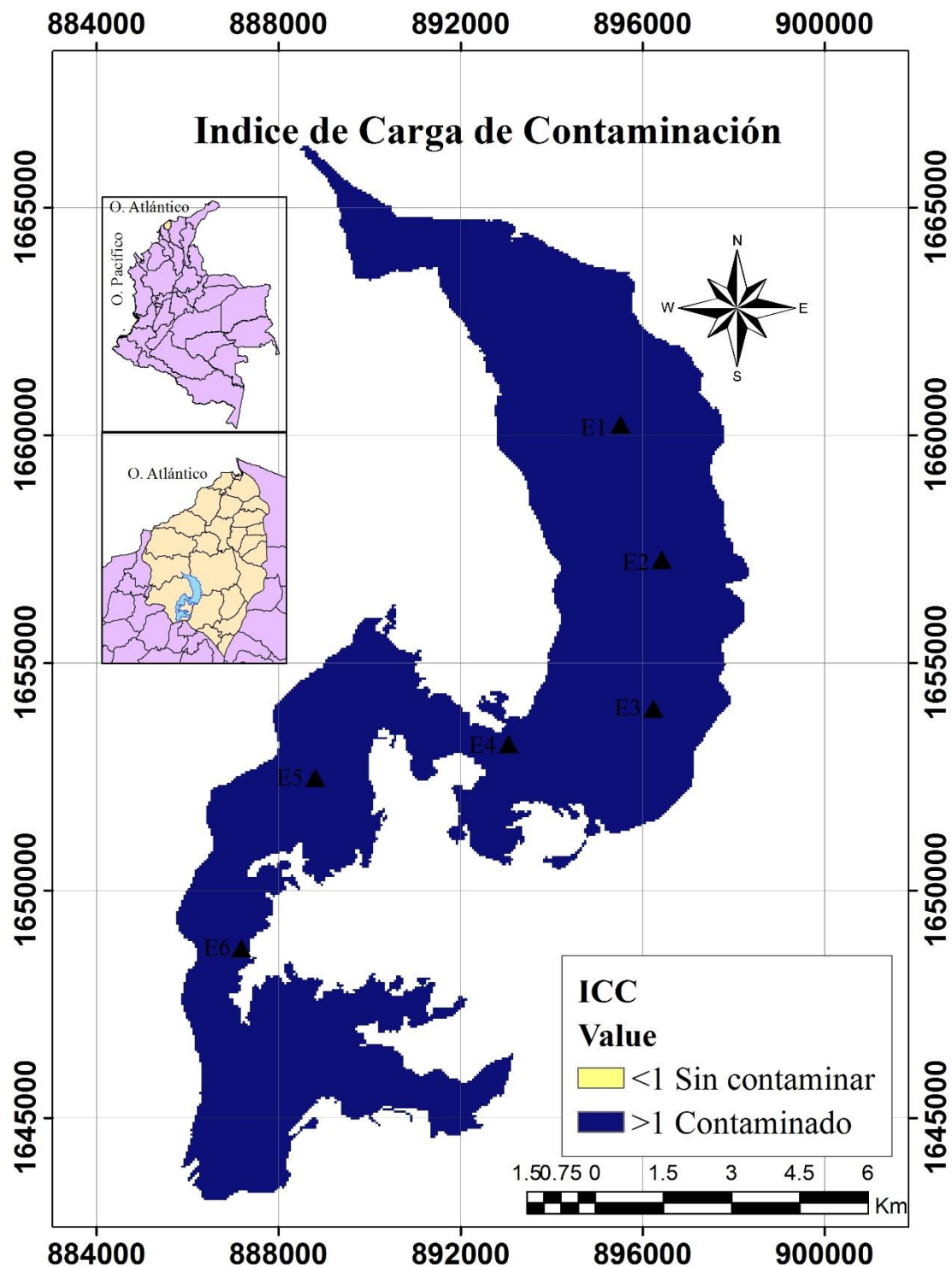


Figura 36. Índice de Carga de Contaminación en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

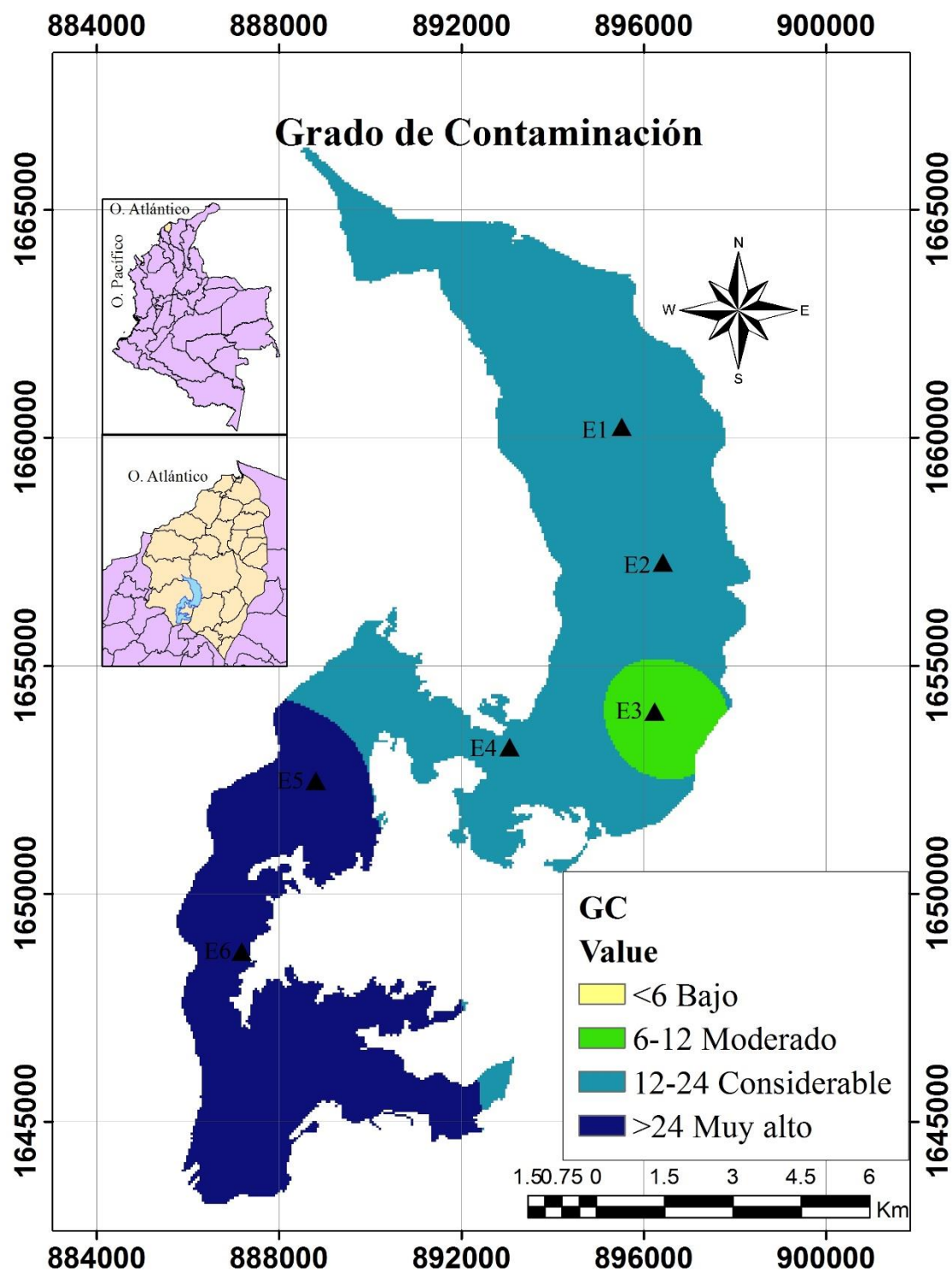


Figura 37. Grado de Contaminación en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.4.4 Índice de geo-acumulación (IGEO).

Los Índices de Geo-acumulación, indicaron que para Pb en ninguna de las estaciones se presentaron valores positivos, por lo cual es una zona de categoría 0: sin contaminación de este metal (Figura 38). En relación al Hg, este varió de -2.51 a 0.51, donde solo para las estaciones E5 y E6 presentaron valores considerándose categoría 1: no contaminado a moderadamente contaminado y para las estaciones restantes como no se hallaron valores positivos, fueron de categoría 0 (Figura 39). Para el Zn los IGEO oscilaron entre 0.70-1.27 lo que clasifica a la zona en la categoría 1 y 2: moderadamente contaminado (Figura 40). El Cr y Ni se obtuvieron valores de 1.25-2.07 y 1.06-1.97 equitativamente, mostrando categoría 2 sin incluir la E5 de la CD para el Cr donde alcanzó una categoría 3: moderadamente a fuertemente contaminado y la E3 del Cr donde no fue detectado el elemento (Figura 41 y Figura 42). Finalmente para el Cd se manejaron valores que incluyen la categoría 1 en la E3:0.39, categoría 2: en la E1:1.90 y E2:1.43, categoría 3 en la E4:2.05 y E5 (CD):2.11 y la categoría 4 o fuertemente contaminado en la E5 (CO):3.19, E6 (CO):3.08 y E6 (CD):3.64 (Figura 43).

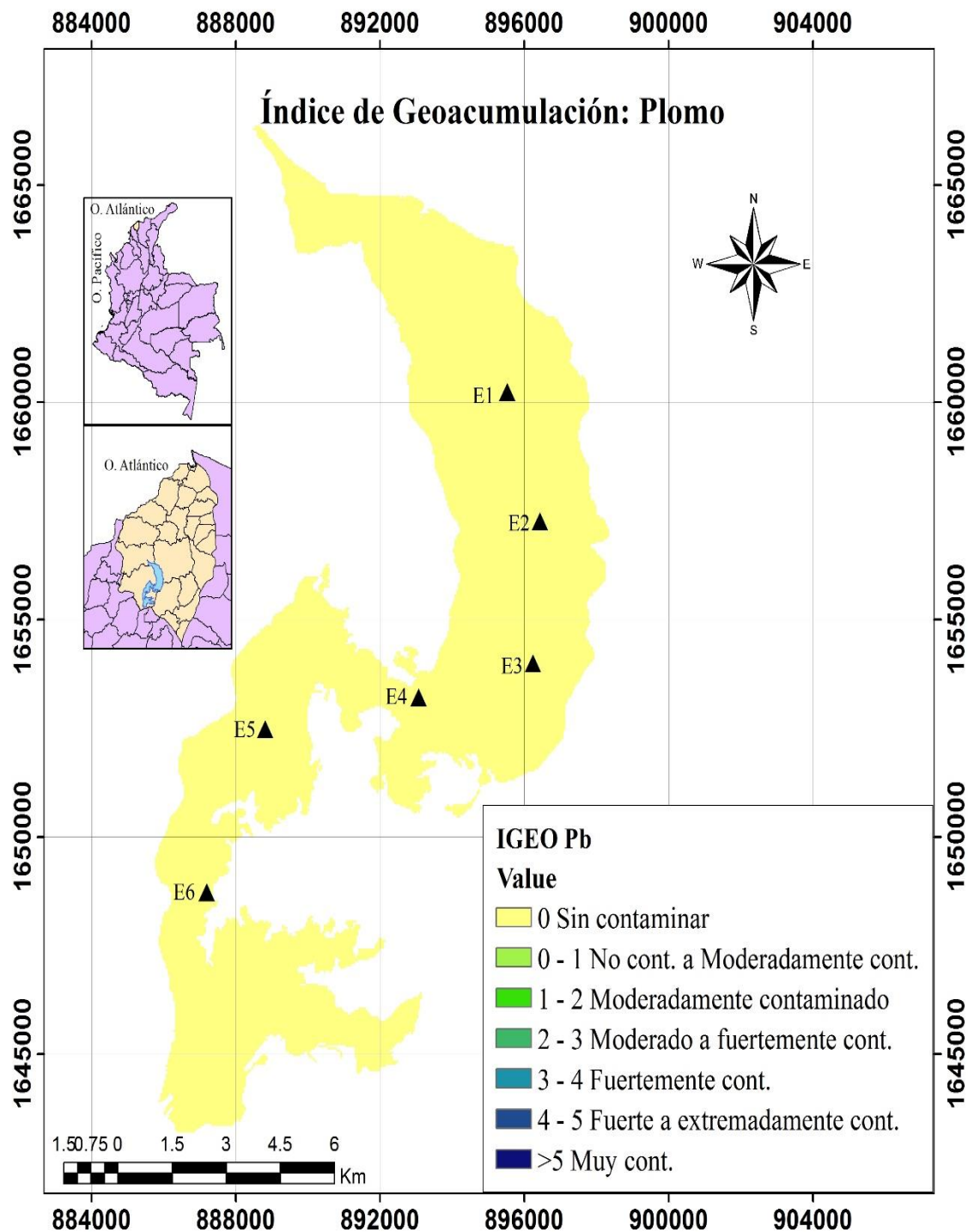


Figura 38. Índice de Geo-acumulación del Pb en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

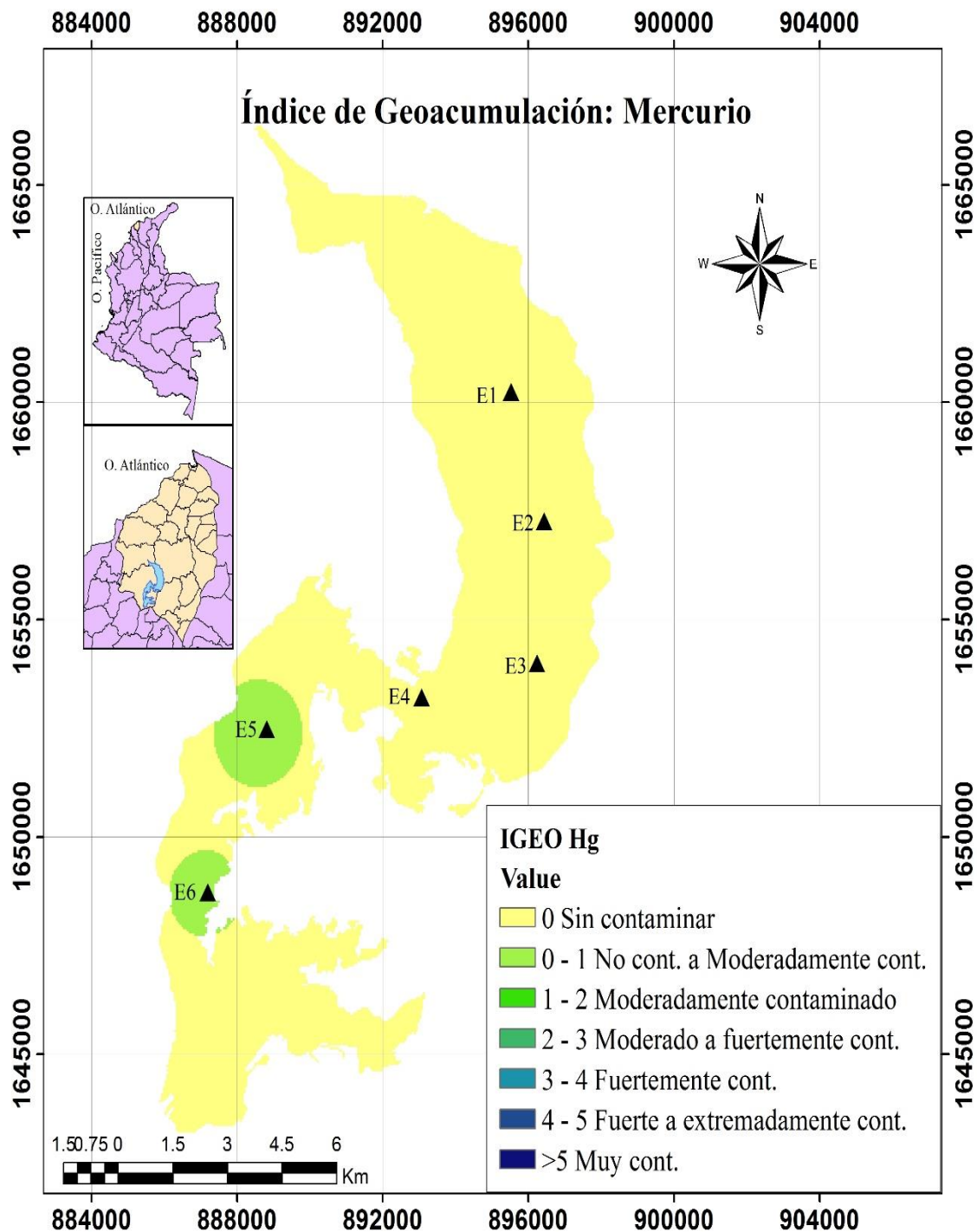


Figura 39. Índice de Geo-acumulación del Hg en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

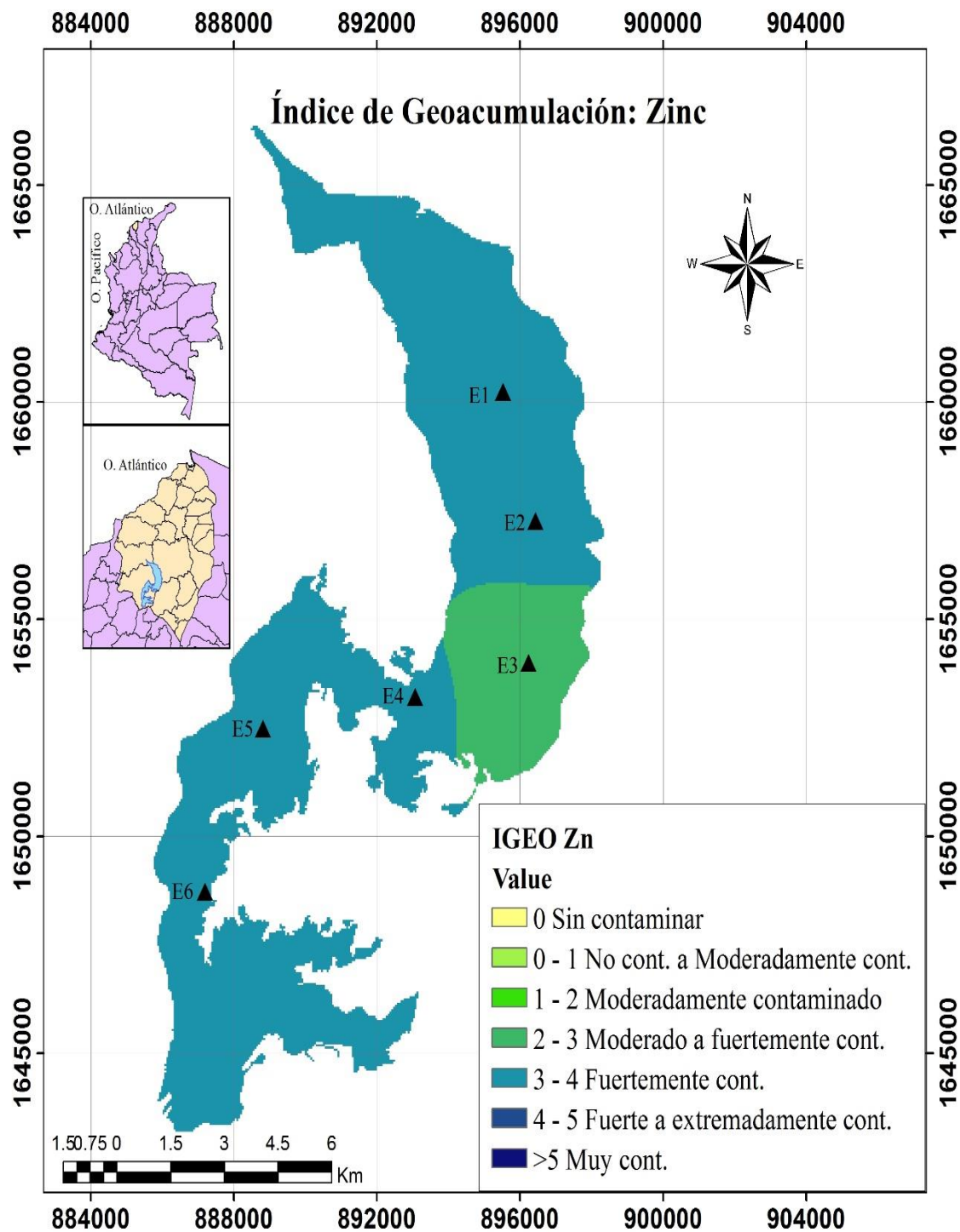


Figura 40. Índice de Geo-acumulación del Zn en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

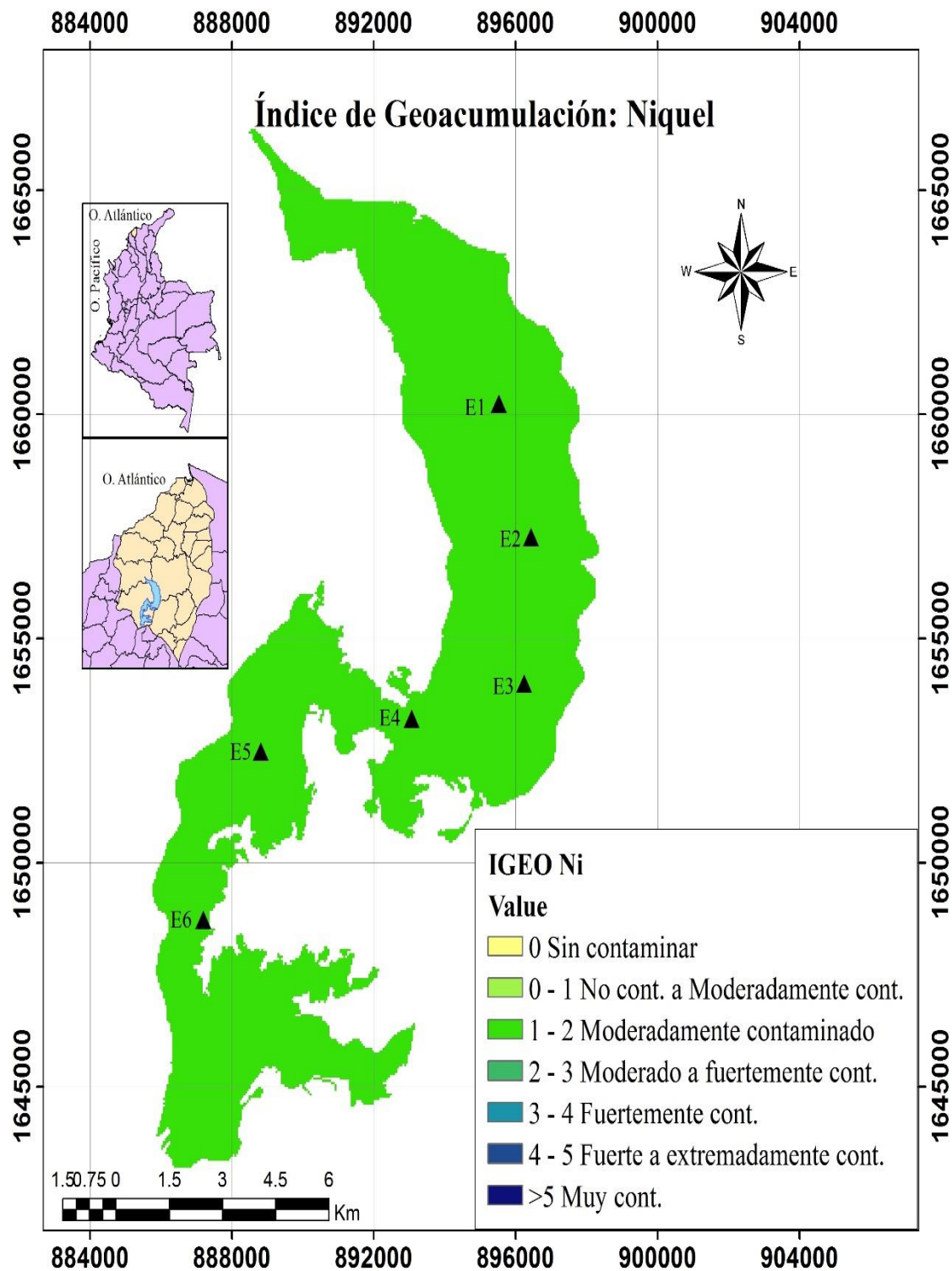


Figura 41. Índice de Geo-acumulación del Ni en los sedimentos del embalse el Guájaro, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

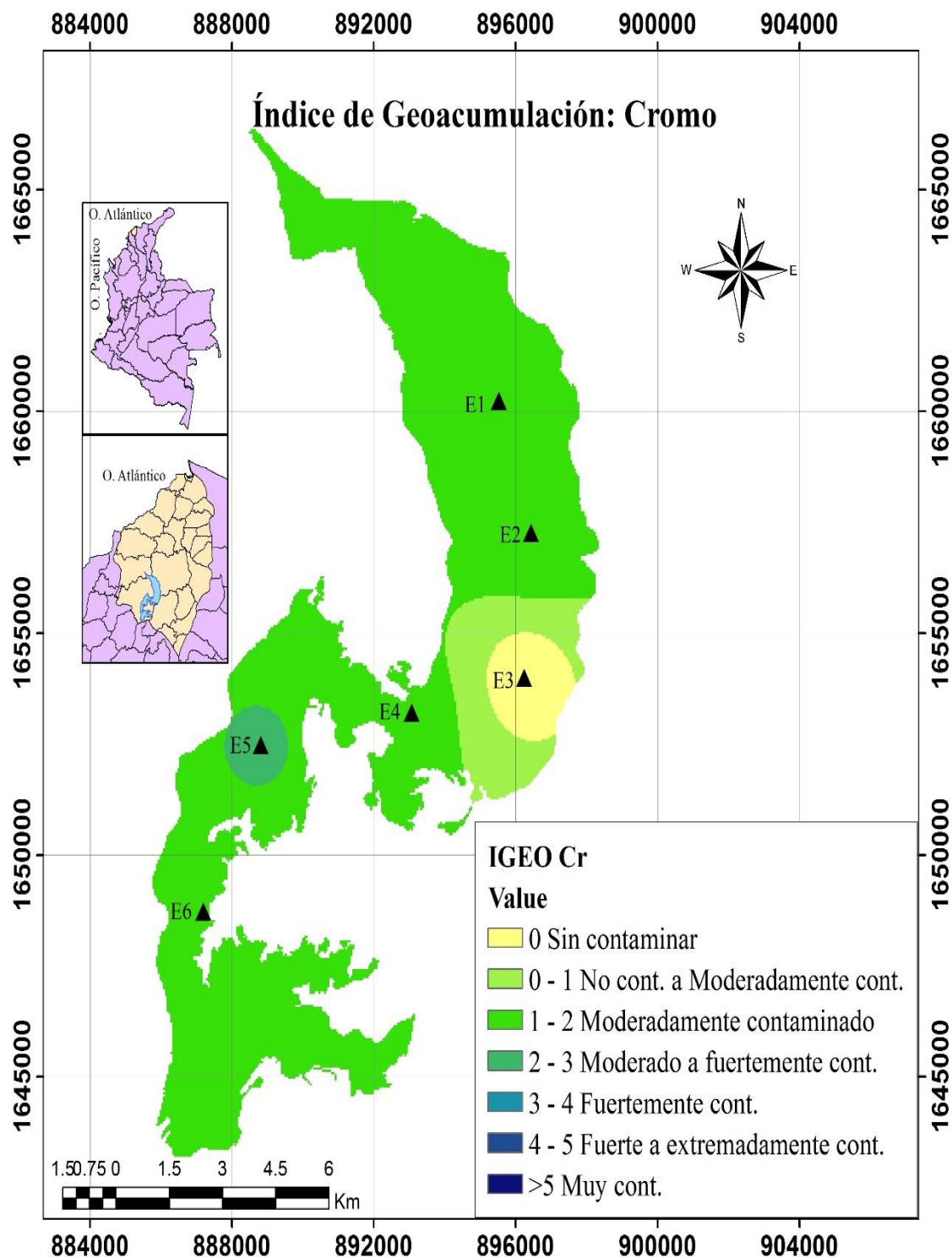


Figura 42. Índice de Geo-acumulación del Cr en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

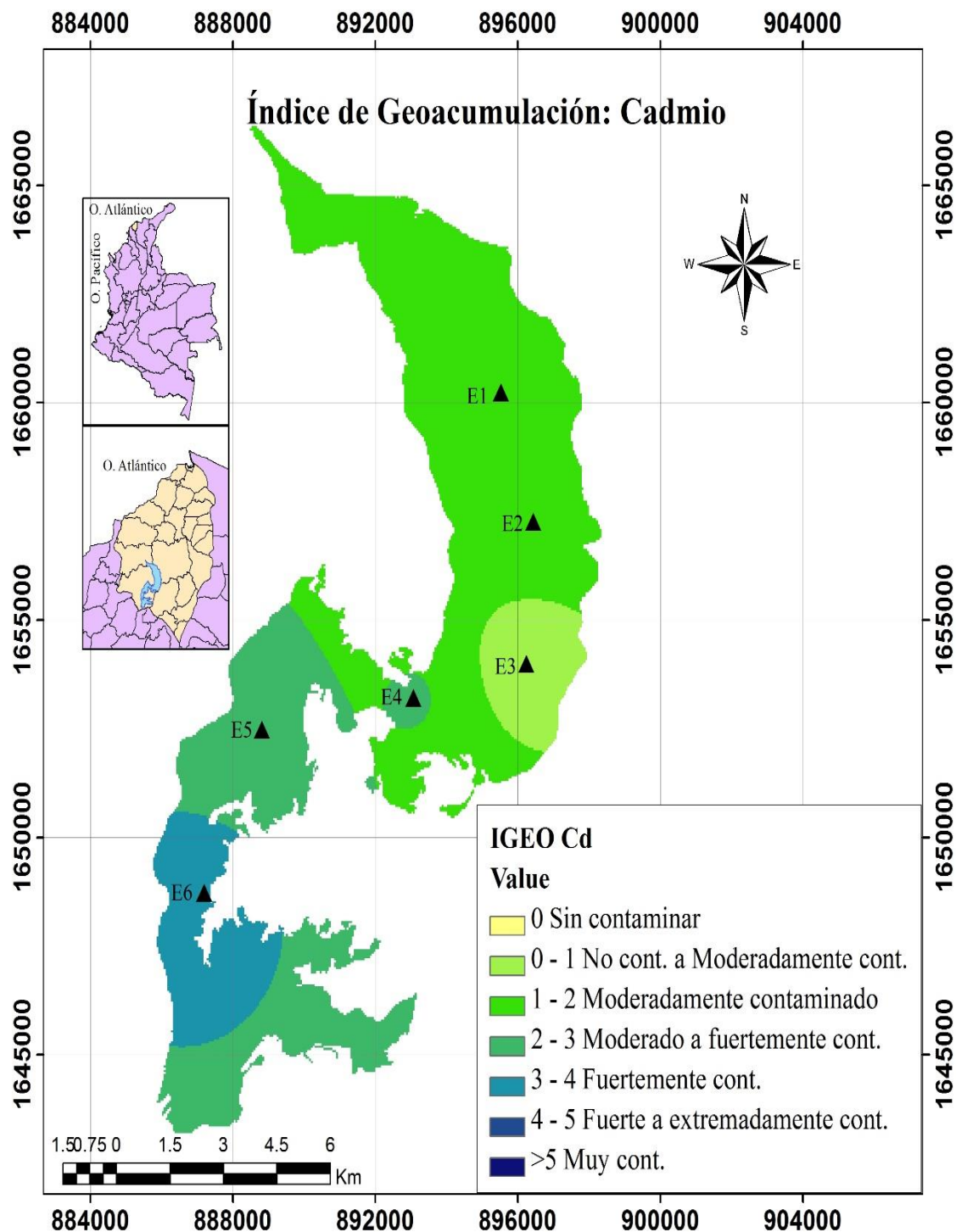


Figura 43. Índice de Geo-acumulación del Cd en los sedimentos del embalse el Guájar, Atlántico (CD). Por:

Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

7.5 Análisis de Correlación de Spearman

Debido a la falta de normalidad de la distribución de los parámetros analizados, se utilizó un análisis no paramétrico conocido como coeficiente de correlación de Spearman.

Los resultados del análisis de correlación de Spearman entre materia orgánica, pH y metales pesados detectados en los sedimentos del embalse se muestran en la *Tabla 18*.

Tabla 18

Resultados de la Correlación de Spearman entre Materia Orgánica, pH y Metales Pesados del embalse el Guájaro, Atlántico

	%MO	pH	Hg	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd
	p: probabilidad							
%MO	1	0.669	0.268	0.054	1,000	0.586	0.213	0.254
pH	0.18	1	<u>0.018</u>	0.06	0.795	<u>0.008</u>	0.156	<u>0.018</u>
Hg	-0.446	-0.789*	1	<u>0.01</u>	0.955	<u>0.007</u>	0.139	<u>0.047</u>
Pb	-0.699	-0.687	0.833**	1	0.456	<u>0.028</u>	<u>0.037</u>	<u>0.007</u>
Zn	0	-0.11	-0.024	0.31	1	0.651	0.102	0.779
Cr	-0.229	-0.847**	0.857**	0.762*	0.19	1	<u>0.047</u>	<u>0.028</u>
Ni	-0.494	-0.552	0.571	0.738*	0.619	0.714*	1	0.207
Cd	-0.458	-0.789*	0.714*	0.857**	0.119	0.762*	0.5	1

Nota: Resultados de los coeficientes de correlación de Spearman para materia orgánica, pH y metales pesados detectados en sedimentos del Embalse el Guájaro. Por: Franco-Cabrera, M. & Scaldaferro Ruiz, K, 2017.

Las asociaciones significativas ($p < 0.05$) se muestran en subrayadas, mientras que los coeficientes de correlación se presentan en **negrita** y por debajo de la diagonal principal. *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas). **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas). MO: Materia Orgánica

Los valores de pH del sedimento que se registraron correspondieron en la mayoría al rango neutro a ligeramente alcalinos (Navarrete, Oliva Rivera, Valencia Beltran, & Quintero Lopez, 2000). Su correlación, expresó una relación negativa significativa para los metales Hg($r = -0.798$), Pb($r = -0.687$), Cr($r = -0.847$), Ni($r = -0.552$) y Cd($r = -0.798$), lo que concuerda con la disminución de la biodisponibilidad de los metales pesados en los sedimentos a medida que aumenta el pH (Kabata-Pendias, 2010).

La correlación desde el punto estadístico indica que la mayoría de los metales están altamente correlacionados como se preveía y ha sucedido en estudios similares (Karuppasamy, Qurban, Krishnakumar, Mushir, & Abuzaid, 2017; Khodami et al., 2017). Se presentó una correlación muy fuerte entre el Hg-Cr($r=0.857$), Pb-Cd($r=0.857$) y Pb-Hg($r=0.833$); fuerte positiva entre Cd-Cr($r=0.762$), Pb-Cr($r=0.762$) Ni-Pb($r=0.738$), Ni-Cr($r=0.714$), Cd-Hg($r=0.714$) y Ni-Zn($r=0.619$) y moderada positiva con Ni-Hg($r=0.571$) y Ni-Cd($r=0.5$), resultados que sugieren fuentes de orígenes similares, generalmente introducidos a los sistemas acuáticos, sedimentos lacustres o marinos por actividades tales como la minería, agricultura, descarga de aguas residuales, entre otras (Barros-Barrios, Doria-Argumedo, & Marrugo-Negrete, 2016).

Una buena calidad de materia orgánica se traduce en una alta capacidad de acumulación de metales pesados (Reyes & Barreto, 2011). El análisis de correlación de Pearson para la MO con el pH($r=0.18$), Cr($r=-0.229$) y Zn($r=0$) se consideró en un rango despreciable, lo que significa que entre las variables no existe una relación. En relación con el Ni($r=-0.494$), Cd($r=-0.458$) y Hg($r=-0.446$) se mostró una proporción negativa moderada y finalmente para el Pb($r=-6.99$) una asociación fuerte. Estos resultados muestran que el embalse a nivel de sedimentos superficiales su contenido de materia orgánica es pobre, y presenta una relaciones atípicas a los que planean otros autores donde la concentración de metales es significativamente más alta cuando la MO aumenta (Rosales Hoz & Carranza Edwards, 2005).

9. Conclusiones

Teniendo en cuenta los objetivos podemos concluir que:

- ✓ Fue posible la determinación de los niveles de plaguicidas y metales pesados, la distribución espacial solo para metales en los sedimentos superficiales de embalse el Guájaro, cuyas concentraciones fueron mayores en las estaciones próximas al Distrito de Riego de Repelón.
- ✓ En el desarrollo de la prueba piloto, se observó que la percepción de riesgo de los agricultores es escaso y se evidencia en los actuales lugares de almacenamiento y disposición final de residuos, igualmente en la indumentaria que utilizan al preparar y aplicar los plaguicidas.
- ✓ Existen 14 entidades que captan aguas del embalse el Guájaro desconociendo las concentraciones de plaguicidas y metales pesados que contienen, el problema consiste en que dichas entidades desarrollan actividades industriales como la acuicultura, minería, acueducto y alcantarillado que de una u otra forma afectan al ser humano.
- ✓ No fue posible la comparación con guías colombianas, puesto que, el país no cuenta con un marco normativo. Colombia como país en vía de desarrollo, debería ampliar los estudios de los cuerpos de agua incluyendo la matriz de sedimentos para conocer las realidades de los ecosistemas. Una vez, se detecten los compuestos tóxicos, convendría analizar los efectos adversos generados.
- ✓ El grado de contaminación arrojó una visión general del estado actual del embalse por ser el resultado de la sumatoria de todos los factores de

contaminación de cada metal. El promedio de todas las estaciones indica que los sedimentos están altamente contaminados.

- ✓ Al finalizar esta investigación se identificó que la principal fuente de contaminantes hacia los sedimentos del área de estudio es la agricultura, puesto que, esta actividad sugiere el empleo de plaguicidas que a su vez contienen metales pesados y son agregados al ecosistema provocando alteraciones al mismo. Lo anterior, se corrobora con correlaciones positivas significativas entre los metales, de lo que se infiere que sus fuentes son similares.

Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1997). Clorpirifos (Chlorpyrifos). Retrieved from [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/49\)CLORPIRIFOS.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/49)CLORPIRIFOS.pdf)
- Agudelo Echavarría, D. M., Flórez Molina, M. T., López, C., & Palacio, J. (2013). Influence Of Physical-Chemical Conditions Of Sediment And Water-Sediment Interface On Experimental Transfer Of O,O-Diethyl O-(3,5,6-Trichloro-2-Pyridinyl Phosphorothioate And 3,5,6-Trichloro-2-Pyridinol (Tcp) At Riogrande II'' Reservoir. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 12(23), 13–22. Retrieved from <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/690/859>
- Albert, L. A. (1985). Plaguicidas. In *Curso basico de toxicología ambiental* (pp. 372–373). Mexico: Sociedad Mexicana de Toxicología. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-04a21.pdf>
- Alcalá Jáuregui, J. A., Rodríguez Ortiz, J. C., Hernández Montoya, A., Villarreal Guerrero, F., Cabrera Rodríguez, A., Beltrán Morales, F. A., & Díaz Flores, P. E. (2014). Contaminación por metales pesados en sedimentos de un área ribereña en San Luis Paotosí, México. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 203–221.
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5, 27–35. <http://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Alloway, B. J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed., p. 596).

Springer. <http://doi.org/10.1007/987-94-007-4470-7>

Anguiano, O., Souza, M., Ferrari, A., Soleño, J., Pechen, A., & Montagna, C. (2005).

Conociendo los efectos adversos de los plaguicidas podremos cuidar nuestra salud y la del ambiente. (O. L. Anguiano & C. M. Montagna, Eds.). Buenos Aires:

Universidad Nacional del Comahue. Retrieved from

<http://www.bvsde.paho.org/bvsamat/plaguicidas2.pdf>

Araujo Chevez, C. I., Peraza de Ramírez, S. G., & Castillo Ruiz, G. A. (2010).

Cuantificación de plomo, mercurio, y cadmio en el agua de consumo humano de cinco comunidades de El Salvador por espectrofotometría de absorción atómica (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador. Retrieved from

http://ri.ues.edu.sv/2370/1/Cuantificación_de_plomo%2C_mercurio_y_cadmio_en_agua_de_consumo_humano_de_cinco_comunidades_de_El_Salvador_por_espectrofotometría_de_absorción_atómica.pdf

Arboleda, G., Bustamante, A., Fernandez, N., Fierro, M., & Lucio, Y. (2011). Analisis

instrumental. Retrieved from <https://es.slideshare.net/AnaGabrielaMiranda/78107982-analisisinstrumental2>

Arboleda Bonilla, J. P., Solano Peinado, J. E., Romero Urdaneta, M. A., & Gómez

Carrascal, E. (2000). Informe Nacional sobre el Uso y Manejo de Plaguicidas en Colombia, Tendiente a Identificar y Proponer Alternativas para Reducir el Ecurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe. *Ministerio de Medio Ambiente*, 2(Proyecto PNUMA/UCR/CAR), 163.

Arias Almeida, J. C., & Ramírez Restrepo, J. J. (2009). Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia).

Limnetica, 28(1), 65–78. Retrieved from

<https://ddd.uab.cat/pub/limnetica/02138409v28n1/02138409v28n1p65.pdf>

Arrieta Barbosa, A. L. (1999). *Guájaro: Presente y Pasado de una Microregión del Norte de Colombia* (Ediciones). Bogotá.

Australian and New Zealand And Conservation Environment Council, & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. (2000). The Guidelines. In *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* (1st ed., p. 314). Retrieved from <http://www.dofa.gov.au/infoaccess/>

Barral, R., Pozo, K., Urrutia, R., Cisternas, M., Pacheco, P., & Focardi, S. (2001). Plaguicidas Organoclorados Persistentes en Sedimentos de Tres Lagos Costeros y un Lago Andino de Chile Central. *Boletín de La Sociedad Chilena de Química*, 46(2), 149–159. <http://doi.org/10.4067/S0366-16442001000200008>

Barros-Barrios, O., Doria-Argumedo, C., & Marrugo-Negrete, J. (2016). Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia. *Veterinaria Y Zootecnia*, 10(2), 27–41. <http://doi.org/10.17151/vetzo.2016.10.2.3>

Barros Barrios, O., Marrugo Negrete, J. L., & Doria Mercado, C. (2017). *Evaluación de los niveles y distribución espacial de metales pesados en zonas de playas turísticas de la Guajira (Tesis de Maestría)*. Universidad de la Guajira. Retrieved from [http://repositoryinst.uniguajira.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/44/1/EVALUACION DE LOS NIVELES Y DISTRIBUCION ESPACIAL DE METALES PESADOS EN ZONAS DE PLAYAS TURISTICAS DE LA GUAJIRA.pdf](http://repositoryinst.uniguajira.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/44/1/EVALUACION%20DE%20LOS%20NIVELES%20Y%20DISTRIBUCION%20ESPACIAL%20DE%20METALES%20PESADOS%20EN%20ZONAS%20DE%20PLAYAS%20TURISTICAS%20DE%20LA%20GUAJIRA.pdf)

Bedmar, F., Gianelli, V., Angelini, , & Viglianchino, L. (2015). Riesgo de contaminación del agua subterránea con plaguicidas en la cuenca del arroyo El Cardalito, Argentina., 41, 13.

- Beltrán, E.; Pineda, M., & Rodriguez, M, Gómez, A. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Revista I3*, 2(2), 82–112.
- Bergues Garrido, P. S. (2011). Evaluación de metales pesados en los suelos del coto minero manganesífero Cristo -Barrancas. *Mineria Y Geologia*, 27(3), 43–57. Retrieved from <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/viewFile/272/pdf>
- Bezerra da Silva, Y. J. A., Barros Cantalice, J. R., Singh, V., Araújo do Nascimento, C. W., & Casimiro Piscoya, V. (2015). Trace element fluxes in sediments of an environmentally impacted river from a coastal zone of Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(19), 14755–14766.
- Bigus, P., Tobiszewski, M., & Namieśnik, J. (2014). Historical records of organic pollutants in sediment cores. *Marine Pollution Bulletin*, 78(1–2), 26–42. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.008>
- Bruinsma, J. (2003). *World agriculture : towards 2015/2030 : an FAO perspective*. Earthscan. Retrieved from <https://pr-en.diebuchsuche.com/book-isbn-9789251048351.html>
- Buchman, M. F. (1999). *Screening Quick Reference Tables* (No. Report 99-1). United States. Retrieved from <http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQuiRTs.pdf>
- Cabildo Miranda, M. del P., Cornago Ramírez, M. del P., Escolastico León, C., Esteban Santos, S., López García, C., & Sanz del Castillo, D. (2013). Impacto de los compuestos orgánicos en el medio ambiente. In *Bases químicas del medio ambiente* (p. 505). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Cailleaud, K., Forget-Leray, J., Souissi, S., Lardy, S., Augagneur, S., & Budzinski, H.

- (2007). Seasonal variation of hydrophobic organic contaminant concentrations in the water-column of the Seine Estuary and their transfer to a planktonic species *Eurytemora affinis* (Calanoïd, copepod). Part 2: Alkylphenol-polyethoxylates. *Chemosphere*, 70(2), 281–287. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.012>
- Calderón Villagómez, H. E., González Enriquez, R., & Durán de Bazú, C. (2001). Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del Lago de Catemaco, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(1), 23–30. Retrieved from <http://132.248.8.213/rica/index.php/rica/article/viewFile/25533/24078>
- Cardona Rúa, F. A., Molina Flórez, Eresa M., & Baena Palacio, J. (2013). Variación espacial y temporal en los contenidos de mercurio, plomo, cromo y materia orgánica en sedimento del complejo de humedales de Ayapel, Córdoba, noroccidente colombiano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 69, 244–255. Retrieved from http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/5454/1/RuaAlex_2013_VariacionEspacialTemporal.pdf
- Carrillo Sarmiento, C. (2012). *Plan de Desarrollo del Municipio de Repelón “Por un Repelón al Alcance de Todos.”* Repelón, Colombia. Retrieved from http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/R/repelon_atlantico_pd_2012-2015/repelon_atlantico_pd_2012-2015.asp
- Cedeño Ochoa, C. J., Del pilar Bojacá, R., & Duque Solano, M. E. (2006). Metales en Agua por plasma Acoplado por Inducción (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn). *Instituto de Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales*. Colombia. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Plasma+Acoplado+por+Inducción..pdf/d4946215-8e8f-4262-bab2-b236139cfcc8>

- Centro Internacional de Agricultura Orgánica - CIAO, Corporación para la Conservación del Medio Ambiente, & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1998). *Agricultura ecológica, inventario nacional: guía metodológica*. Santafé de Bogotá: El Ministerio.
- Chiou, C. T., McGroddy, S. E., & Kile, D. E. (1998). Partition characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons on soilsand sediments. *Environmental Science & Technology*, 32(2), 264– 269. <http://doi.org/10.1021/es970614c>
- Colorado, B. E. J., Tobon, A. B., & Ballestas, I. T. (2016). Organophosphorus pesticides degrading bacteria present in contaminated soils. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 13–22. <http://doi.org/10.13140/rg.2.2.20023.73126>
- Contreras Niño, V. D., Ríos Reyes, C. A., & Vargas Fiallo, L. Y. (2011). *Síntesis de Zeolita tipo Faujasita a partir de la Activación Alcalina de Illita para su Aplicación en la Eliminación de Cr^{3+} Y Ni^{2+} de efluentes de la industria del Galvanizado (Tesis de pregrado)*. Universidad Industrial De Santander. Retrieved from <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1133/2/138048.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. (2012). *Síntesis Ambiental*. Barranquilla, Atlántico. Retrieved from <http://www.crautonomia.gov.co/documentos/Planes/2013/4 Sintesis Ambiental.pdf>.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. (2014). *Diagnóstico inicial para el ordenamiento del embalse del guájaro y la ciénaga de luruaco*. Barranquilla, Atlántico.
- Cortés, A. (2015). Cromatografía. Retrieved March 24, 2017, from <https://es.slideshare.net/Andreaccf/cromatografia-46119393>
- Couderc, M., Poirier, L., Zalouk-Vergnoux, A., Kamari, A., Blanchet-Letrouvé, I.,

- Marchand, P., ... Le Bizec, B. (2015). Occurrence of POPs and other persistent organic contaminants in the European eel (*Anguilla anguilla*) from the Loire estuary, France. *Science of The Total Environment*, 505, 199–215.
<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.053>
- CRA, & Unimagdalena. (2012). *Actualización del manual de operaciones del hidrosistema al cual pertenece el embalse el Guájaro y llevar a cabo el diseño de las estructuras y sistemas para disminuir la vulnerabilidad de la zona ante eventos climatológicos extremos*. Barranquilla: Universidad del Magdalena & Corporación Autónoma Regional del Atlántico.
- De la Cruz, E., Bravo, V., & Ramírez, F. (2010). Manual de Plaguicidas de Centroamérica: Endrin y Paration. Retrieved March 27, 2017, from
<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/214-endrin>
- De Souza, R. V., Garbossa, L. H. P., Campos, C. J. A., Vianna, L. F. de N., Vanz, A., & Rupp, G. S. (2016). *Metals and pesticides in commercial bivalve mollusc production areas in the North and South Bays, Santa Catarina (Brazil)*. *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 105). Santa Catarina, Brazil. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.024>
- Del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene Y Epidemiología*, 52(3). Retrieved from
http://bvs.sld.cu/revistas/hie/vol52_3_14/hig10314.htm
- Departamento de Planeación Nacional. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Detección y Cuantificación de Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos y Organismos en

- la Zona Costera del Municipio de Ahome, Sinaloa. (2005). *Sappi.ipn.mx*, 11.
Retrieved from http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20050485_2278.pdf
- Dhanakumar, S., Solaraj, G., & Mohanraj, R. (2015). Heavy metal partitioning in sediments and bioaccumulation in commercial fish species of three major reservoirs of river Cauvery delta region, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 145–151.
<http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.032>
- Dhivert, E., Grosbois, C., Courtin Nomade, A., Bourrain, X., & Desmet, M. (2016). Dynamics of metallic contaminants at a basin scale — Spatial and temporal reconstruction from four sediment cores (Loire fluvial system, France). *Science of the Total Environment*, 541, 1504–1515.
<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.146>
- Doan Ngoc, K., Van den Berg, F., Houbraken, M., & Spanoghe, P. (2015). Volatilisation of pesticides after application in vegetable greenhouses. *Science of The Total Environment*, 505, 670–679. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.036>
- El Amier, Y. A., Elnaggar, A. A., & El Alfy, M. A. (2017). Evaluation and mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), 55–66.
<http://doi.org/10.1016/j.ejbas.2016.09.005>
- Enuneku, A., Biose, E., & Ezemonye, L. (2017). Levels, Distribution, Characterization and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Road Side Soils and Earthworms from Urban High Traffic Areas in Benin Metropolis, Southern Nigeria. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.019>
- Escolar Vega, A. (2007). *Ecosistemas Acuaticos Del Departamento Del Atlantico*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA.

- Escolar Vega, A. (2014). *Informe de Gestión 2014*. Barranquilla, Atlantico. Retrieved from [http://www.crautonomia.gov.co/documentos/Planes/2014/Informe final 2014.pdf](http://www.crautonomia.gov.co/documentos/Planes/2014/Informe%20final%202014.pdf)
- Esteve Turrillas, F. A. (2007). *Preparación de muestras para el análisis de plaguicidas mediante microondas y fluidos presurizados (Tesis Doctoral)*. Universidad de Valencia. Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10251/esteve.pdf;sequence=1>
- Etchegoyen, M., Ronco, A., Almada, P., Abelando, M., & Marino, D. (2017). Occurrence and fate of pesticides in the Argentine stretch of the Paraguay-Paraná basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(2), 63–75. <http://doi.org/10.1007/s10661-017-5773-1>
- Fernández, D. S., Puchulu, M. E., & Georgieff, S. M. (2014). Identification and assessment of water pollution as a consequence of a leachate plume migration from a municipal landfill site (Tucumán, Argentina). *Environ. Geochem. Health*, 36, 489–503.
- Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. In *Macla* (Vol. 10, pp. 48–60). Retrieved from http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Garcés Ordóñez, O., Vivas Aguas, L. J., Martínez Campo, M., Córdoba Meza, T., Contreras Guerrero, A., Obando Madera, P., ... Sánchez, J. (2016). Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 4. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1, 377. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García Ubaque, C. A., García Ubaque, J. C., & Vaca Bohórquez, M. L. (2015). Compuestos orgánicos persistentes en Colombia: cuantificación y diagnóstico para pesticidas

organoclorados. *Tecnura (En Linea)*, 19(43), 163–169.

<http://doi.org/10.14483/UDISTRITAL.JOUR.TECNURA.2015.1.A011>

Georgina Calva, L., & Torres, M. del R. (1998). Plaguicidas organoclorados. *ContactoS*, 30, 35–46. Retrieved from

<http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n30ne/pdf/plaga.pdf>

González, E., Ahumada, R., Medina, V., Neira, J., & González, U. (2004).

Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama: Aplicación en la determinación total de cadmio, plomo y zinc en aguas frescas, agua de mar y sedimentos marinos. *Química Nova*, 27(6), 873–877. <http://doi.org/10.1590/S0100-40422004000600006>

González Millán, M. de los Á. (2016). *Eliminación de herbicidas y metales pesados en aguas mediante el uso de hidróxidos dobles laminares (Tesis de Doctorado)*. Universidad de Córdoba.

Hernández-Crespo, C., & Martín, M. (2015). Determination of background levels and pollution assessment for seven metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) in sediments of a Mediterranean coastal lagoon. *Catena*, 133, 206–214. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.013>

Hongmei, L., Xuming, K., Xiaomin, L., Qiang, L., Jinming, S., Nianzhi, J., & Yongyu, Z. (2016). Heavy metals in surface sediments along the Weihai coast, China: Distribution, sources and contamination assessment. *Marine Pollution Bulletin. Article in Press*, 8. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.039>

Hunt, L., Bonetto, C., Resh, V. H., Forsin Buss, D., Fanelli, S., Marrochi, N., & Lydyd, M. J. (2016). Insecticide concentrations in stream sediments of soy production regions of South America. *Science of the Total Environment*, 547, 114–124.

<http://doi.org/http://dx.doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.scitotenv.2015.12.140>

ICA. (2005). *Subgerencia Protección y Regulación Agrícola Restricciones, Prohibiciones y Suspensión de Registros Restricciones, Prohibiciones y Suspensión de Registros.*

Instituto Colombiano Agropecuario. Retrieved from

<http://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a->

[e55f0b5b42dc/PLAGUICIDAS-PROHIBIDOS.aspx](http://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/PLAGUICIDAS-PROHIBIDOS.aspx)

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2003). Manual de técnicas analíticas para

la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (agua,

sedimentos y organismos). *Manual de Técnicas Analíticas Para La Determinación de*

Parámetros Fisicoquímicos Y Contaminantes Marinos. Colombia: Cargraphics-

Impresion Digital. Retrieved from

<https://drive.google.com/file/d/0B7Hu6MwnzP1IN2ZBc3lybmM5Rmc/view>

Iqbal, J., Saleem, M., & Shah, M. H. (2016). Spatial distribution, environmental assessment

and source identification of metals content in surface sediments of freshwater

reservoir, Pakistan. *Chemie Der Erde - Geochemistry*, 76(1), 171–177.

<http://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.02.002>

Iwata, H., Tanabe, S., Ueda, K., & Tatsukawa, R. (1995). Persistent Organochlorine

Residues in Air, Water, Sediments, and Soils from the Lake Baikal Region, Russia.

Environmental Science & Technology, 29(3), 792–801.

<http://doi.org/10.1021/es00003a030>

J. I. Santisteban, Mediavilla, R., García, M. J. G., Castro, F. D., & Zapata, M. B. R. (2009).

La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos y de uso del suelo en el

registro reciente de un humedal mediterráneo (Las Tablas de Daimiel, Ciudad Real).

Jiménez Martín, S., Chamorro Camazón, C., & Hernández Gómez, R. (2016). Alternativas

para generación de energía eléctrica a partir de biogás procedente de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Valladolid. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/22117/1/TFG-P-503.pdf>

Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC. Retrieved from <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>

Kanzari, F., Syakti, A. D., Asia, L., Malleret, L., Piram, A., Mille, G., & Doumenq, P. (2014). Distributions and sources of persistent organic pollutants (aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs and pesticides) in surface sediments of an industrialized urban river (Huveaune), France. *Science of The Total Environment*, 478, 141–151. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.065>

Karuppasamy, M. P., Qurban, M. A., Krishnakumar, P. K., Mushir, S. A., & Abuzaid, N. (2017). *Evaluation of toxic elements As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in the surficial sediments of the Red Sea (Saudi Arabia)*. *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 119). <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.019>

Keshavarzi, B., Mokhtarzadeh, Z., Moore, F., Rastegari Mehr, M., Lahijanzadeh, A., Rostami, S., & Kaabi, H. (2015). Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Karoon River, Khuzestan Province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 19.077-19.092. <http://doi.org/10.1007/s11356-015-5080-8>

Khodami, S., Surif, M., W.O., W. M., & Daryanabard, R. (2017). Assessment of heavy metal pollution in surface sediments of the Bayan Lepas area, Penang, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 615–622.

<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.038>

Kile, D. E., Chiou, C. T., Zhou, H., Li, H., & Xu, O. (1995). Partition of Nonpolar Organic Pollutants from Water to Soil and Sediment Organic Matters. *Environmental Science & Technology*, 29(5), 1401–1406. <http://doi.org/10.1021/es00005a037>

Kleijnen, J. P. C. (2009). Kriging metamodeling in simulation: A review. *European Journal of Operational Research*, 192(3), 707–716.

<http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.013>

Kothe, E., Dimkpa, C., Haferburg, G., Schmidt, A., & Schmidt, A. (2010). Streptomycete heavy metal resistance: extracellular and intracellular mechanisms. *I. Sherameti, A. Varma (Eds.), , Soil Biology, Springer, Berlin/Heidelberg*, 225–235.

Lacayo R, M. L., López G, A., Picado P, F., Cuadra L, J. A., Pitty T, J., Montenegro R, K., & Calero R, S. E. (1997). Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados en Aguas y Sedimentos del Río San Juan y en sus Principales Subcuenas, 1992, 1993 y 1997, 22.

Laino Guanes, R. M., Bello Mendoza, R., González Espinosa, M., Ramírez Marcial, N., Jiménez Otárola, F., & Musálem Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala.

Tecnología Y Ciencias Del Agua. Versión On-Line, 6(4), 61–74. Retrieved from

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-

24222015000400004

Leonenko, N. N., Papić, I., Sikorskii, A., & Šuvak, N. (2017). Heavy-tailed fractional Pearson diffusions. *Stochastic Processes and Their Applications*.

<http://doi.org/10.1016/j.spa.2017.03.004>

Li, C., Song, C. W., Yin, Y. Y., Sun, M. H., Tao, P., & Shao, M. H. (2015). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Shuangtaizi estuary,

- China. *Marine Pollution Bulletin*, 98, 358–364.
- Li, Y., Duan, Z. W., Liu, G. L., Kalla, P., Scheidt, D., & Cai, Y. (2015). Evaluation of the possible sources and controlling factors of toxic metals/metalloids in the Florida Everglades and their potential risk of exposure. *Environmental Science & Technology*, 49, 9714–9723.
- Lin, T., Guo, Z., Li, Y., Nizzetto, L., Ma, C., & Chen, Y. (2015). Air-seawater exchange of organochlorine pesticides along the sediment plume of a large contaminated river, 49(9), 5354–5362. <http://doi.org/10.1021/es505084j>
- Loaiza Cárdenas, A. (2005). *Lineamientos de política sobre el uso y manejo mesurado de plaguicidas en el sector agropecuario del departamento de Antioquia con énfasis en el sector agropecuario y forestal del departamento de Antioquia*. Medellín.
- Londoño Posso, D. M., & Alzate Rodriguez, E. J. (2013). *Validación del Método de Determinación de Calcio y Magnesio por Espectroscopia de Absorción Atómica de Llama para el Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira (Tesis de Pregrado)*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3406/5430858L847.pdf?sequence=1>
- López Tévez, L. L., Williams, P., & Okulik, N. (2016). *Estudio de compuestos metálicos con ligandos de interés biológico (Tesis Doctoral)*. Universidad Nacional de la Plata.
- Retrieved from <http://studylib.es/doc/5163315/complejos-de-cobre--cinc-y-cadmio>
- Loska, K., Wiechulla, D., & Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30(2), 159–165.
- [http://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00157-0](http://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00157-0)

- Mahboob, S., Niazi, F., AlGhanim, K., Sultana, S., Al-Misned, F., & Ahmed, Z. (2015). Health risks associated with pesticide residues in water, sediments and the muscle tissues of *Catla catla* at Head Balloki on the River Ravi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3), 1–10. <http://doi.org/10.1007/s10661-015-4285-0>
- Mahecha Pulido, J., Trujillo González, J., & Torres Mora, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región Ariari, Departamento de Meta. *ORINOQUIA*, 19(1), 108–122. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n1/v19n1a11.pdf>
- Malve, O., Salo, S., Verta, M., & Forsius, J. (2003). Modeling the transport of PCDD/F compounds in a contaminated river and the possible influence of restoration dredging on calculated fluxes. *Environmental Science and Technology*, 37(15), 3413–3421. <http://doi.org/10.1021/es0260723>
- Mamontova, E. A., Mamontov, A. A., & Tarasova, E. N. (2016). Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in bottom sediments of the Irkutsk Reservoir. *Water Resources*, 43(2), 335–340. <http://doi.org/10.1134/S0097807816020068>
- Manodori, L., Gambaro, A., Piazza, R., Ferrari, S., Stortini, A. M., Moret, I., & Capodaglio, G. (2006). PCBs and PAHs in sea-surface microlayer and sub-surface water samples of the Venice Lagoon (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 52(2), 184–192. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.08.017>
- Marín, A. (2015). “*EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS EN TRES LOCALIDADES DE LA ZONA COSTERA DE LA PROVINCIA DE EL ORO, 2014.*” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA.
- Marrugo Negrete, J., Pinedo Hernández, J., & Díez, S. (2017). Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River

- Basin, Colombia. *Environmental Research*, 154, 380–388.
<http://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021>
- Masís, F., Valdez, J., Coto, T., & León, S. (2008). Residuos de Agroquímicos en Sedimentos de Ríos, Poás, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 113–123.
- Mauricio Betancourt, J., & Ramírez Triana, G. (2005). Estudio de los Procesos Relacionados con la Presencia de Plaguicidas Organoclorados de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Boletín de Investigaciones Marinas Y Costeras - INVEMAR*, 34(892), 121–140.
- McGroddy, S. E., Farrington, J. W., & Gschwend, P. M. (1996). Comparison of the *in Situ* and Desorption Sediment–Water Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls. *Environmental Science & Technology*, 30(8), 2660–2660. <http://doi.org/10.1021/es962003a>
- Menco, A., & Caceres, A. P. (2016). Delimitar los barrios construidos por el Estado Nacional, Provincial y Municipal antes de 1990 a través del uso del SIG. *Informe Científico Técnico UNPA.*, 8(1), 151–171. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5454200>
- Menzies, R., Soares Quinete, N., Gardinali, P., & Seba, D. (2013). *Baseline occurrence of organochlorine pesticides and other xenobiotics in the marine environment: Caribbean and Pacific collections. Marine Pollution Bulletin* (Vol. 70).
<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.003>
- Milla Cotos, O. M., Palomino Horna, W. R., & Anaya Pajuelo, R. (2002). *Niveles de colinesterasa sérica en agricultores de la localidad de Carapongo (Perú) y determinación de residuos de plaguicidas inhibidores de la Acetilcolinesterasa en frutas y hortalizas cultivadas (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de

- San Marcos. Retrieved from
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/salud/milla_c_o/Milla_C_O.htm
- Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y M. A. (2007). Clorpirifós. Retrieved March 24, 2017, from <http://www.prtr-es.es/Clorpirifos,15619,11,2007.html>
- Ministerio de Medio Ambiente. (1999). *Políticas Ambientales de Colombia*. Santa Fe de Bogotá D.C.
- Molina Larrahondo, M. (1992). Avances en el Manejo y Aprovechamiento Acuícola de Embalses en América Latina y el Caribe. Retrieved from
<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S04.htm#ch3>
- Mongalo Ebanks, F. B., Suárez Sanchez, J., Siu Estrada, E., Montoya Arguello, J. J., Mairena Valdivia, D. A., Flores Pacheco, A., ... Valencia Quintana, P. (2013). Concentración de plaguicidas en agua , sedimentos y ostiones (*Crassostrea rizophorae*) de la Laguna de Bluefields, RAAS, Nicaragua. *Wani*, 67(0), 49–54.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5377/wani.v67i0.1888>
- Mwanamoki, P. M., Devarajan, N., Thevenon, F., Birane, N., Felipe, L., Alencastro, D., ... Poté, J. (2014). Chemosphere Trace metals and persistent organic pollutants in sediments from river-reservoir systems in Democratic Republic of Congo (DRC): Spatial distribution and potential ecotoxicological effects. *Chemosphere*, 111, 485–492. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.083>
- Narváez Valderrama, J. F., Palacio Baena, J. A., & Molina Pérez, F. J. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestion Y Ambiente*, 15(3), 27–38.
- Navarrete, A. de J., Oliva Rivera, J. J., Valencia Beltran, V., & Quintero Lopez, N. (2000). Distribución de los sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México.

- Hidrobiologic*, 10(1), 61–67. Retrieved from <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/853>
- Neme, C., Ríos, M., Zaldúa, N., & Cupeiro, S. (2010). *Aproximación a la Normativa Vigente sobre Plaguicidas y sus Impactos ambientales*. Uruguay: Vida Silvestre Uruguay. Retrieved from http://vidasilvestre.org.uy/wp-content/uploads/2010/08/normativa_plaguicidas_Vida-Silvestre-Uruguay.pdf
- Net, S., Dumoulin, D., El Osmani, R., Rabodonirina, S., & Ouddane, B. (2014). Case study of PAHs, Me-PAHs, PCBs, phthalates and pesticides contamination in the Somme River water, France. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1159–1170.
- Nethaji, S., Kalaivanan, R., Arya Viswam, & Jayaprakash, M. (2017). *Geochemical assessment of heavy metals pollution in surface sediments of Vellar and Coleroon estuaries, southeast coast of India*. *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 115). <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.045>
- Niño Barrero, F. Y., & Pio de la Hoz Restrepo, F. (2010). *Determinación del nivel de exposición a plaguicidas por consumo de agua de pozo y la relación con los posibles efectos en la salud de la población residente en la vereda chorrillos del sector rural de suba (Tesis de Maestría)*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/3968/1/598233.2011.pdf>
- Nordberg, G., Langård, S., William Sunderman, F., Mager Stellman, J., Osinsky, D., Dinman, B., & Agency For Toxic Substances and Disease Registry. (2001). Capítulo 1: Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad. In *Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo* (Vol. 1, p. 76). Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Subdirección General de Publicaciones, 2000. Retrieved from

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>

Nziguheba, G., & Smolders, E. (2008). Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Sci. Total Environ.*, 390, 53–57.

Obiols Jordi. (1999). *NTP 512: Plaguicidas organofosforados (I): aspectos generales y toxicocinética*. España. Retrieved from

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_512.pdf

Olguín Pérez, L., & Rodríguez Héctor, H. (2004). *Metodos en Biotecnología:*

Cromatografía de Gases. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Mexico.

Retrieved from

http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/cromatografia_de_gases.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., Ongley, E. D.,

& Organizacao da Nacoes Unidas para a Alimentacao e Agricultura. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. FAO. Retrieved from

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s00.htm#Contents>

Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. (2014).

Consumo de Plaguicidas 1990-2014, Colombia. Retrieved April 12, 2017, from

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/RP/visualize>

Organización Mundial de la Salud. (2006). Capitulo 8: Aspectos químicos. In *Guías para*

la calidad del agua potable (3rd ed., Vol. 1, p. 408). Ediciones de la OMS. Retrieved

from http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Organización Panamericana de la Salud. (2002). La salud en las Américas. *Publicación*

Científica Y Técnica No. 587, 1, 237. Retrieved from

http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=16931&Itemid=270&lang=en

- Oyaga Martínez, R. F. (2013). Realidades Ambientales de los Cuerpos de Agua del departamento del Atlántico, Colombia. *INGENIARE*, (14), 43–62.
- Paranjape, K., Gowariker, V., Krishnamurthy, V., & Gowariker, S. (2014). *The Pesticide Encyclopedia*. Cabi, Oxfordshire.
- Peng, K., Luo, C., Lou, L., Li, X., & Shen, Z. (2008). Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 392, 22–29. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.11.032>
- Prion, S., & Haerling, K. A. (2014). Making Sense of Methods and Measurement: Spearman-Rho Ranked-Order Correlation Coefficient. *Clinical Simulation in Nursing*, 10(10), 535–536. <http://doi.org/10.1016/j.ecns.2014.07.005>
- Programa de las naciones unidas para el medio ambiente., Organización mundial de la salud., & Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (1996). Eliminación de Grandes Cantidades en Desuso en los Países en Desarrollo- Colección FAO: Eliminación de Plaguicidas - 4. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/w1604s/w1604s04.htm#TopOfPage>
- Protano, C., Zinnà, L., Giampaoli, S., Spica, V. R., Chiavarini, S., & Vitali, M. (2014). Heavy metal pollution and potential ecological risks in rivers: a case study from southern Italy. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(1), 75–80.
- Puth, M. T., Neuhäuser, M., & Ruxton, G. D. (2015, April). Effective use of Spearman's and Kendall's correlation coefficients for association between two measured traits.

Animal Behaviour. <http://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.01.010>

Queiroz, E. V. de, Araújo, P. V. do N., Hammill, E., & Amaral, R. F. do. (2016).

Morphological characteristics of rhodolith and correlations with associated sediment in a sandstone reef: Northeast Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 8, 133–140. <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.10.005>

Ramírez, J. A., & Lacasaña, Y. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*, 4(2), 67–75.

Rangel Peraza, J. G., De Anda, J., González Farías, F. A., Rode, M., García Sanhouse, A., & Bustos Terrones, Y. A. (2015). Assessment of heavy metals in sediment of Aguamilpa Dam, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(134). <http://doi.org/10.1007/s10661-015-4359-z>

Rasmussen, J. J., Wiberg-Larsen, P., Baattrup-Pedersen, A., Cedergreen, N., McKnight, U. S., Kreuger, J., ... Friberg, N. (2015). The legacy of pesticide pollution: An overlooked factor in current risk assessments of freshwater systems. *Water Research*, 84, 25–32. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.021>

Rastegari Mehr, M., Keshavarzi, B., Moore, F., Sharifi, R., Lahijanzadeh, A., & Kermani, M. (2017). Distribution, source identification and health risk assessment of soil heavy metals in urban areas of Isfahan province, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 132, 16–26. <http://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.026>

Red de Acción de Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. (2004). *Listado de Plaguicidas Autorizados en Chile por Servicio Agrícola y Ganadero*. Chile. Retrieved from www.rap-al.org/db_files/PlaguiAL_InfoPa_Chile_PlaguiAutorizaSAG_Sep04.xls

René Farrera, P. (2004). Acerca de los Plaguicidas y su Uso en la Agricultura.

- Requema, A., Quintillana, R., Bolarin, J., Vazquez, A., Bastida, A., Zuñiga, J., & Tomas, L. (n.d.). UNIVERSIDAD DE MURCIA. Control de la Contaminación Propia.
- Unidad VI-1: Cromatografía de gases y espectrometría por tiempo de vuelo (TOF)
- Fundamentos de la cromatografía de gases. Retrieved July 5, 2017, from <http://www.um.es/LEQ/Atmosferas/index.htm>
- Resolución 0648. Resolución 0648, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA 16 (2015). Retrieved from <http://www.anla.gov.co/gaceta/0648-05-junio-2015>
- Restrepo Ángel, J. D. (2005). *Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental* (1st ed.). Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Retrieved from <https://books.google.com.co/books?isbn=9588173906>
- Reyes, M., & Barreto, L. (2011). Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Revista Épsilon*, 16, 31–45. [http://doi.org/ISSN: 1692-1259](http://doi.org/ISSN:1692-1259)
- Richardson, M. (1991). Groundwater Contamination by Herbicides. *Mervyn L (Ed). Chemistry Agriculture and the Environment. The Royal Society of Chemistry*, 236–249.
- Rivera Trejo, F., Gutiérrez López, A., Val Segura, R., Mejía Segura, R., Sánchez Ruiz, P., Aparicio Mijares, J., & Díaz Flores, L. (2005). *La medición de sedimentos en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, UJAT*. Jiutepec, Morelo/Villahermosa, Tabasco Mexico. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?isbn=9685536538>
- Rodríguez C., I., Robledo M., M. de L., Jáuregui M., C., Quintero H., B., Ramírez H., S., Tovar R., R., & Espinosa R., M. A. (2008). Niveles de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales de un tramo del río Mololoa. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), 146–154. Retrieved from

<http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v4-n2-15-niveles-de-plaguicidas-organoclorados.pdf>

Rodríguez Zambrano, A. P., & Aranguren Riaño, N. J. (2014). Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 15(2), 95–110. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/491/49140782008.pdf>

Rojas Mayorquín, C. M. (2011). *Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México (Tesis de Pregrado)*. Universidad de Guadalajara. Retrieved from http://www.conanp.gob.mx/contenido_2/pdf/cedoc_tesis_2013/Rojas_Mayorquin_Citlalli_Micaela-Estudio_de_la_contaminacion.pdf

Romero, E. (2007). Residuos Mineros. Huelva: Universidad de Huelva. Retrieved from <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos Mineros.pdf>

Rosales Hoz, L., & Carranza Edwards, A. (2005). Estado Geoquímico de Metales en el Estuario del río Coatzacoalcos, p. (389-406). In A. V. Botello, R. J. Von Osten, G. Gold Bouchot, & C. Agraz Hernández (Eds.), *Golfo de México: Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2nd ed., p. 696). Universidad Autónoma de Campeche, Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología.

Rosas Rodríguez, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6978/02INTRODUCCION.pdf?seq>

uence=2

- Ruíz Cabarcas, A. del C., & Pabón Caicedo, J. D. (2013). Efecto de los fenómenos de el niño y la niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico, Colombia. *Cuadernos de Geografía*, 22(2), 35–54. Retrieved from file:///C:/aochoaj/Dropbox/mendeley/papers/Ru?z, Pab?n. 2013. Efecto de los fen?menos de El Ni?o y La Ni?a en la precipitaci?n y su impacto en la producci?n agr?cola del departame.pdf
- Ruiz Guerrero, R., Vendevre, C., Thiebaut, D., Bertoncini, F., & Espinat, D. (2006). Comparison of Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography Coupled with Sulfur-Chemiluminescence Detector to Standard Methods for Speciation of Sulfur-Containing Compounds in Middle Distillates. *Journal of Chromatographic Science*, 44(9), 566–573. <http://doi.org/10.1093/chromsci/44.9.566>
- Ruvalcaba Ledezma, J. C., Estrada Montiel, R., López Hidalgo, M. G., Vázquez García, R., & Sánchez Martínez, D. V. (2016). Conocimiento y percepción respecto al impacto de vivir cerca a canales de aguas residuales. *Journal of Negative and No Positive Results*, 1(4), 142–148.
- Salamanca, M. A., & Jara, B. (2003). Distribución y acumulación de plomo en sedimentos de los fiordos de la XI región. *Clenc. Tecnol*, 26(2), 61–71. Retrieved from <http://www.cona.mil.cl/ctmol2/vol26-2/Salamanca/Salamanca.pdf>
- Salamanca Niño, L. C., & Torres Chisino, N. (2009). *Determinación de la Característica de Toxicidad del Endosulfan por Medio de la Técnica Toxiity Characteristic Leanching Procedure (Tesis de Pregrado)*. Universidad de la Salle. Universidad de la Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14004/T41.09>

N622d.pdf?sequence=1

Salamanca Niño, L. C., Torres Chisino, N., & González Forero, R. (2009). *Determinación de la característica de toxicidad del Endosulfan por medio de la técnica Toxicity characteristic leaching procedure (Tesis de Pregrado)*. Universidad de la Salle.

Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14004/T41.09>

N622d.pdf?sequence=1

Saleem, M., Iqbal, J., & Shah, M. H. (2015). Geochemical speciation, anthropogenic contamination, risk assessment and source identification of selected metals in freshwater sediments—A case study from Mangla Lake, Pakistan. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 4, 27–36.

<http://doi.org/10.1016/j.enmm.2015.02.002>

Sánchez Osorio, J. L., Macías Zamora, J. V., Ramírez Álvarez, N., & Bidleman, T. F. (2017). Organochlorine pesticides in residential soils and sediments within two main agricultural areas of northwest Mexico: Concentrations, enantiomer compositions and potential sources. *Chemosphere*, 123, 275–287.

<http://doi.org/http://dx.doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.chemosphere.2017.01.010>

Sánchez Pinzon, M. S. (2010). *Contaminacion por metales pesados en el botadero De basuras de Moravia en Medellin: Transferencia a flora y fauna y evaluacion del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas (Tesis Doctoral)*.

Universidad Javeriana. Retrieved from

<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. (2017). Técnicas Químicas Analíticas. Retrieved March 29, 2017, from <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Tecnicas->

quimicas-analiticas.html

- Shi, J., Li, P., Li, Y., Liu, W., Zheng, G. J. S., Xiang, L., & Huang, Z. (2016). Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in surface sediments from Shantou Bay, China: Sources, seasonal variations and inventories. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1–2), 585–591. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.006>
- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., & Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - A case study. *Water Research*, 38(18), 3980–3992. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>
- Sobrero, M. C., Ronco, A., & Beltrano, J. (2010). *Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos. Bioensayos con plantas vasculares como organismos diagnóstico (Tesis Doctoral)*. Universidad de la Plata. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/5246/all-0001.pdf?sequence=1>
- Sun, Z., Mou, X., Tong, C., Wang, C., Xie, Z., Song, H., ... Lv, Y. (2015). Spatial variations and bioaccumulation of heavy metals in intertidal zone of the Yellow River estuary, China. *Catena*, 126, 43–52. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.037>
- Tejeda Benitez, L., Flegal, R., Odigie, K., & Olivero Verbel, J. (2016). Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution*, 212, 238–250. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.057>
- Tiryaki, O., Temur, C., & Akibeti, P. Ç. (2010). The Fate of Pesticide in the Environment. *J. BIOL. ENVIRON. SCI*, 4(10), 29–38. Retrieved from <http://jbes.uludag.edu.tr/PDFDOSYALAR/10/mak05.pdf>

Torrenegra Peña, L. (2001). *Esquema de Ordenamiento Territorial Manatí Atlántico 2001:*

Documento Tecnico Manatí. Manatí Atlántico. Retrieved from

<http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos Office/manati eot.doc>.

Torres Bejarano, F., Gonzalez Marquez, L. C., Diaz Solano, B., Torregroza Espinosa, A.

C., & Cantero Rodelo, R. (2016, November 1). Effects of beach tourists on bathing

water and sand quality at Puerto Velero, Colombia. *Environment, Development and*

Sustainability, p. 15. Barranquilla, Atlantico. [http://doi.org/10.1007/s10668-016-9880-](http://doi.org/10.1007/s10668-016-9880-x)

x

Torres Bejarano, F., Padilla Coba, J., Rodríguez Cuevas, C., Ramírez León, H., & Cantero

Rodelo, R. (2015). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse

del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo Y*

Diseño En Ingeniería, 32(3), 163–172. <http://doi.org/10.1016/j.rimni.2015.04.001>

Torres Lozada, P., Barba Ho, L. E., Ojeda, C., Martínez, J., & Castaño, Y. (2014).

Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial

de toxicidad. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 245–255.

Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>

Torres Rodríguez, D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de

compuestos tóxicos. *Ecosistemas. Revista Científica Y Técnica de Ecología Y Medio*

Ambiente, 7(2), 1–5. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/540/54012219.pdf>

Tovar Garzón, N., & Tobón Quintero, G. (2013). *Análisis preliminar de los impactos*

ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la

vereda de Mochuelo Bajo, ciudad Bolívar, Bogotá D.C., Estudio de Caso (Tesis de

Pregrado). Universidad Javeriana. Retrieved from

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12467/GarzonTovarLigiaN>

athalya2013.pdf?sequence=1

- Trujillo Ramirez, O. I. (2006). 2.12 Materiales Utilizados. In G. Is. Giraldo Gomez & M. F. Ocampo Barrera (Eds.), *Analisis de pesticidas por cromatografia de gas, Un modelo operacional* (1st ed., p. 210). Manizales, Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?isbn=9588280052>
- Ubillus Limo, J. (2003). *Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved from http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/ubillus_lj/cap3.pdf
- Vera Morales, J. M., & Gutiérrez López, A. (2012). *Incertidumbre y Confiabilidad de Métodos de interpolación especial en el complemento de Registros Hidrológicos (Tesis doctoral)*. Universidad Autónoma de Querétaro. Retrieved from <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/707/1/RI000069.pdf>
- Vittozzi, L., Fabrizi, L., Di Consiglio, E., & Testai, E. (2001). Mechanistic aspects of organophosphorothionate toxicity in fish and humans. *Environment International*, 26(3), 125–129. [http://doi.org/10.1016/S0160-4120\(00\)00102-1](http://doi.org/10.1016/S0160-4120(00)00102-1)
- Wang, L., Zhang, M., Lou, Y., Ke, R., & Zheng, M. (2017). *Levels and distribution of tris-(2,3-dibromopropyl) isocyanurate and hexabromocyclododecanes in surface sediments from the Yellow River Delta wetland of China. Marine Pollution Bulletin* (Vol. 114). <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.019>
- Wang, T., Pan, J., & Liu, X. (2017). Characterization of heavy metal contamination in the soil and sediment of the Three Gorges Reservoir, China. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 52(3), 201–209.

<http://doi.org/10.1080/10934529.2016.1246931>

Wania, F. (2006). Potential of Degradable Organic Chemicals for Absolute and Relative Enrichment in the Arctic. *Environmental Science & Technology*, 40(2), 569–577.

<http://doi.org/10.1021/es051406k>

Wu, G., Wu, J. Y., & Shao, H. B. (2012). Hazardous Heavy Metal Distribution in Dahuofang Catchment, Fushun, Liaoning, an Important Industry City in China: A Case Study. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 40(12), 1372–1375.

<http://doi.org/10.1002/clen.201000589>

Wu, Y., Wang, X., Li, Y., Ya, M., Luo, H., & Hong, H. (2015). Polybrominated diphenyl ethers, organochlorine pesticides, and polycyclic aromatic hydrocarbons in water from the Jiulong River Estuary, China: levels, distributions, influencing factors, and risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–13.

<http://doi.org/10.1007/S11356-015-4782-2>

Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, 20. <http://doi.org/10.5402/2011/402647>

Xu, F., Qiu, L., Cao, Y., Huang, J., Liu, Z., Tian, X., ... Yin, X. (2016). Trace metals in the surface sediments of the intertidal Jiaozhou Bay, China: Sources and contamination assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 104, 371–378.

<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.019>

Yang, H., Xue, B., Yu, P., Zhou, S., & Liu, W. (2010). Residues and enantiomeric profiling of organochlorine pesticides in sediments from Yueqing Bay and Sanmen Bay, East China Sea. *Chemosphere*, 80(6), 652–659.

<http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.052>

- Yuan, X., Yang, X., Na, G., Zhang, A., Mao, Y., Liu, G., ... Li, X. (2015). Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in surface sediments from the sand flats of Shuangtaizi Estuary, China: levels, distribution, and possible sources. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), 14337–14348.
<http://doi.org/10.1007/S11356-015-4688-Z>
- Zafra, C., Santamaria, D., & Torres, C. (2015). Análisis climático de la concentración de metales pesados asociados al sedimento depositado sobre vías urbanas. *Rev. Salud Pública*, 17(173), 351–364. <http://doi.org/10.15446/rsap.v17n3.46672>
- Zhang, Z., Huang, J., Yu, G., & Hong, H. (2004). Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China. *Environmental Pollution*, 130(2), 249–261. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.12.002>
- Zhou, R., Zhu, L., & Chen, Y. (2007). Levels and source of organochlorine pesticides in surface waters of Qiantang River, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1–3), 277–287. <http://doi.org/10.1007/s10661-007-9683-5>

Bibliografía

Coscollà, C., & Yusà, V. (2016). *Chapter 17 – Pesticides and Agricultural Air Quality. Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 73).
<http://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.04.012>

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. (M. del C. Domínguez de Bazúa, Ed.) (1st ed.). México: REVERTÉ, S.A. & Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?isbn=8429179070>

Restrepo Ángel, J. D. (2005). *Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental* (1st ed.). Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?isbn=9588173906>

Anexos

Anexo A. Consolidado de los Resultados de la Encuesta.

ITEM	VARIABLE	OBJ. ESPECÍFICO	INDICADOR	SUB-INDICADOR		TOTAL	
Datos generales.	Información Socio Demográfica	Identificar las características Socio Demográficas de los agricultores.	Nombres y Apellidos	Abierta			
			Promedio de Edad	63.31 años			
			Promedio de años vivido en la región.	56.31 años			
			Lugar de trabajo	Repelón			
			Correo electrónico	Abierta alfanumérica			
			Grado de escolaridad	Sin estudios	2	5.4%	
				Primaria incompleta	3	8.1%	
				Primaria completa	6	16.2%	
				Secundaria incompleta	4	10.8%	
				Secundaria completa	10	27.0%	
Técnico	6	16.2%					
Tecnólogo	2	5.4%					
Universitario	4	10.8%					
Actividad económica principal.	Agricultura						
Celular	Abierta en números						
I. Aspectos sobre cultivos.	Áreas susceptibles.	Reconocer las principales áreas de influencia susceptibles a la aplicación de plaguicidas.	Nombre del predio y zona a la que pertenece.	Abierta			
			¿Cuántas hectáreas cultiva actualmente?	1 a 3	18	50.0%	
				4 a 6	11	30.6%	
				7 o mas	6	16.7%	
				No responde	1	2.8%	
			¿Cuál es la fecha de su última cosecha?	2010-2012	9	24.3%	
				2013-2014	2	5.4%	
				2015-2016	20	54.1%	
				No responde	6	16.2%	
			El predio es	Propio	30	81.1%	
				Arrendado	4	10.8%	
				Otro	3	8.1%	
			¿Qué cultiva usted actualmente?	Maíz	28	24.8%	
				Yuca	22	19.5%	
				Patilla	7	6.2%	
				Ahuyama	7	6.2%	
				Ñame	4	3.5%	
				Plátano	26	23.0%	
				Moringa	2	1.8%	
				Arroz	1	0.9%	
				Cañafistula	1	0.9%	
				Melón	4	3.5%	
				Eucalipto	1	0.9%	
				Pasto para Ganado	1	0.9%	
				Frijol	3	2.7%	
				Tomate	4	3.5%	
				Semilla Limpia	2	1.8%	
II. Aspectos sobre el Uso y Aplicación	Tipo, uso, frecuencia, aplicación y adquisición.	Registrar el tipo, uso, frecuencia, aplicación y	¿Cuáles son las plagas más frecuentes en su	P l a	Nigeria	1	1.4%
					Gusano (arroz)	1	1.4%
					Receptorina (melón)	1	1.4%
					Gusano Elliotis	10	14.1%

de Plaguicidas.		adquisición de plaguicidas.	cultivo y qué plaguicidas utiliza?	g a	Gusano Cogollero	13	18.3%	
					Sigatoka Amarilla	9	12.7%	
					Sigatoka Negra	7	9.9%	
					Mosca Blanca	7	9.9%	
					Culebra	1	1.4%	
					Sapo	1	1.4%	
					Mosquito	2	2.8%	
					Moko	2	2.8%	
					Erguinia	1	1.4%	
					Picudo	5	7.0%	
					Avispas	1	1.4%	
					Hormigas	3	4.2%	
					Mota Blanca	4	5.6%	
					Otro	2	2.8%	
				P l a g u i c i d a ·	Arrivo	2	3.0%	
					Endrin	1	1.5%	
					Roundup	7	10.4%	
					Gramoxone Súper	3	4.5%	
					Gusathion M35% WP	2	3.0%	
					Gaucha 70% WS	1	1.5%	
					Arco 2,4-D 480 SL	2	3.0%	
					Lannate 90	1	1.5%	
					Lorsban 4E	22	32.8%	
					Fayfanone 57% EC	3	4.5%	
					Galben M	1	1.5%	
					Manzate 200	6	9.0%	
					Oxi Cup WP	3	4.5%	
					Parathion	1	1.5%	
					Ráfaga 4EC	2	3.0%	
					Tamaron 600 SL	1	1.5%	
					Thiodan 50 pm	1	1.5%	
					Tordon 101	2	3.0%	
					Orgánico	1	1.5%	
				Otro	3	4.5%		
				No responde	2	3.0%		
				¿Cuál es la frecuencia de aplicación?	2 - 4 veces al mes		12	32.4%
					Cada mes		4	10.8%
					2-3 meses		3	8.1%
					Cada 6 meses		8	21.6%
					Dependiendo de la plaga		8	21.6%
					No responde		2	5.4%
				Qué cantidad de plaguicida (ml) utiliza por hectárea/mes.	1 a 300		10	27.0%
					300 a 900		6	16.2%
					900 o más		11	29.7%
					Otro		6	16.2%
					No responde		4	10.8%
				¿Qué método utiliza para aplicar el plaguicida?	Bomba de Espalda		35	94.6%
					Abonado		2	5.4%
				¿Hace cuántos años aplica el plaguicida?	Menor a 1 año		3	8.1%
					1 a 5 años		10	27.0%
					5 a 10 años		4	10.8%
					No responde		1	2.7%
					Mayor a 10 años		19	51.4%

			La dosis del plaguicida está basada en	Instrucciones del vendedor	3	7.5%
				Según la etiqueta	5	12.5%
				Recomendación de un tercero	16	40.0%
				A criterio	9	22.5%
				Otro	7	17.5%
			¿Con qué base realiza las aplicaciones de los plaguicidas para su cultivo?	Experiencia	8	21.6%
				Indicaciones del producto	1	2.7%
				Recomendación de un tercero	2	5.4%
				No aplica	1	2.7%
				Tuvo asesoría técnica	25	67.6%
			¿En dónde compra los plaguicidas?	Almacén de insumos	20	50.0%
				Cooperativas	15	37.5%
				Asociaciones	0	0.0%
				Particular	1	2.5%
				Vecino	1	2.5%
				Veterinaria	2	5.0%
				No aplica	1	2.5%
			¿Cómo los solicita en los almacenes?	Por nombre comercial	27	73.0%
				Por ingrediente activo	2	5.4%
				No aplica	1	2.7%
				Remedio para determinada plaga	7	18.9%
			¿A qué hora del día los aplica?	A.M.	31	75.6%
				P.M.	7	17.1%
				No aplica	1	2.4%
				Otro. Especifique	2	4.9%
			¿Quién lo aplica?	Agricultor	37	100%
			¿Qué hace con el plaguicida sobrante?	Se almacena	30	81.1%
				No aplica	1	2.7%
				No respondió	2	5.4%
				Otro	4	10.8%
			¿Qué hace con los envases vacíos?	Se queman	13	32.5%
				No usa envases	1	2.5%
				Se reciclan	5	12.5%
				Lo entierra	10	25.0%
				Entrega a Aseo	6	15.0%
				No aplica	1	2.5%
				Otro	4	10.0%
III. Condiciones ambientales y percepción del riesgo.	Condiciones y riesgos ambientales.	Distinguir las condiciones ambientales y percepción de riesgo de los agricultores.	¿Existen fuentes cercanas de agua a los cultivos?	SI / ¿Cuál?	34	91.9%
				NO	3	8.1%
			¿Utiliza el agua del distrito de riego de Repelón?	SI	31	83.8%
				NO / ¿Cuál?	6	16.2%
			¿Sabe usted si las aguas de escorrentías de su finca llegan a alguna fuente de agua cercana?	SI / ¿Cuál?	34	91.9%
				NO	3	8.1%
				SI / ¿Cuál?	32	86.5%

			¿Conoce usted el tipo de suelo de la región?	NO	5	13.5%	
			¿Se encuentran viviendas y/o escuelas en los alrededores de los terrenos de cultivo?	SI / ¿Cuál?	24	64.9%	
				NO	13	35.1%	
			¿Ha recibido capacitaciones para el manejo de los plaguicidas?	SI / ¿Cuál?	23	62.2%	
				NO	14	37.8%	
			¿Ha sufrido alguna contaminación por derramamiento o por daño del recipiente durante el transporte?	SI / ¿Dónde?	7	18.9%	
				NO	30	81.1%	
			¿En qué lugar almacena los plaguicidas?	Vivienda	10	27.0%	
				Parcela	21	56.8%	
				No almacena	2	5.4%	
				No responde	2	5.4%	
				Otro	2	5.4%	
			¿Cómo y/o en qué transporta los plaguicidas hasta el sitio de aplicación?	Moto	22	59.5%	
				Bicicleta	9	24.3%	
				No aplica	0	0.0%	
				Otro	6	16.2%	
			¿Qué indumentaria y equipos de protección utiliza al momento de preparar y aplicar los plaguicidas?	Guantes	28	75.7%	
				Mascarilla	20	54.1%	
				Botas de caucho	26	70.3%	
				Poncho de caucho	7	18.9%	
				Gafas	20	54.1%	
				Otro	1	2.7%	
				No aplica	1	2.7%	
			Nada	6	16.2%		
			¿Con cuánta frecuencia verifica que el equipo de protección a utilizar está en buen estado?	Cada semana	8	21.6%	
				Cada dos semanas	7	18.9%	
				Cada mes	12	32.4%	
				Mayor a cada mes	1	2.7%	
				Antes de fumigar	3	8.1%	
				No aplica	1	2.7%	
				Nunca	5	13.5%	
			¿Con qué agita la mezcla de los plaguicidas en el tanque y/o bomba?	Cuchara	3	8.1%	
				Mano	0	0.0%	
				Rama	21	56.8%	
				No aplica	1	2.7%	
				Instrumento especial	12	32.4%	
			Después de haber aplicado los plaguicidas se lava las manos	SI/ Lava las manos	Con agua y jabón	35	94.6%
					Solo agua	0	0.0%
				No/ No lo hace por:	No hay agua ni jabón	0	0.0%
					tiene prisa	1	2.7%
				No aplica	1	2.7%	

IV. Percepción del cambio climático.	Cambio climático.	Determinar la percepción del cambio climático por parte de los agricultores.	¿Conoce algún efecto que pueden ocasionar los plaguicidas sobre la salud?	Intoxicación		30	61.2%
				Alergias		7	14.3%
				Afectaciones a Sistema Nervioso		3	6.1%
				Otro		9	18.4%
			¿Conoce o sabe usted qué es el cambio climático?	Abierta	Responden	34	91.9%
					No responde	3	8.1%
			¿Considera que las actividades agrícolas pueden afectarse por el cambio climático?	NO		3	8.1%
				SI/ ¿Cómo?		33	89.2%
				No responde		1	2.8%
			¿Considera que los plaguicidas influyen en el cambio climático?	NO		4	10.8%
				SI/ ¿Cómo?		31	83.8%
				No responde		2	5.4%
			¿Usted cree que las capacitaciones sobre el uso y manejo de plaguicidas podrían contribuir a mitigar el cambio climático?	NO		3	8.1%
				SI/ ¿Cómo?		33	89.2%
				No responde		1	2.7%
			¿Usted cree que las otras técnicas para el control de plagas y fertilizaciones donde no se utilizan los insumos químicos pueden contribuir con la reducción del cambio climático?	NO		2	5.4%
				SI/ ¿Cómo?		34	91.9%
				No responde		1	2.7%